



<p>(51) 国際特許分類6 H01L 21/027, G03F 7/20</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO98/59364</p> <p>(43) 国際公開日 1998年12月30日 (30.12.98)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP98/02840</p> <p>(22) 国際出願日 1998年6月25日 (25.06.98)</p> <p>(36) 優先権データ 特願平9/168406 1997年6月25日 (25.06.97) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 田中康明(TANAKA, Yasuaki)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社 ニコン内 Tokyo, (JP)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 社本一夫, 外(SHAMOTO, Ichio et al.) 〒100-0004 東京都千代田区大手町二丁目2番1号 新大手町ビル206区 ユアサハラ法律特許事務所 Tokyo, (JP)</p>		<p>(81) 指定国 AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, GW, HU, ID, IL, IS, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>
<p>(54)Title: PROJECTION ALIGNER, METHOD OF MANUFACTURING THE ALIGNER, METHOD OF EXPOSURE USING THE ALIGNER, AND METHOD OF MANUFACTURING CIRCUIT DEVICES BY USING THE ALIGNER</p> <p>(54)発明の名称 投影露光装置、該装置の製造方法、該装置を用いた露光方法、及び該装置を用いた回路デバイスの製造方法</p> <p>(57) Abstract</p> <p>The quantity of ultraviolet pulse light (IL) incident on a projection optical system (PL) is measured by means of an integrator sensor (9), and the quantity of ultraviolet pulse light (IL) that has passed through the projection optical system (PL) is measured by means of an irradiation monitor (32). The quantity of transmitted light is divided by the quantity of incident light to calculate the proportion at which the ultraviolet pulse light (IL) is attenuated in the projection optical system (PL), or an attenuation factor. The attenuation factor is determined as a function of the integrated value of the quantity of incident light. During exposure, the integrated value as quantity measured by means of the integrate sensor (9) is substituted into the function to estimate the transmissivity (attenuation factor) of the projection optical system (PL). The output of an excimer laser source (1) is controlled according to this attenuation factor to control the exposure thereby preventing lowering of exposure control precision due to illumination variations (or pulse energy variations) on the substrate caused by attenuation variations (transmissivity variations) in the projection optical system.</p> <div data-bbox="974 1207 1429 1701"> </div> <p>1 ... ArF excimer laser source 67 ... Transmissivity calculation unit 69 ... Control unit A ... from 27 B ... Reticle R</p>		

# (57)要約

投影光学系 P L に入射する紫外パルス光 I L の光量をインテグレートセンサ 9 を介して計測し、投影光学系 P L を透過した紫外パルス光 I L の光量を照射量モニタ 3 2 を介して計測し、透過光量を入射光量で除算することによって投影光学系 P L において紫外パルス光 I L が減衰する割合、すなわち減衰率を算出する。この減衰率を入射光量の積分値の関数として求めておき、露光時にはその関数にインテグレートセンサ 9 を介して計測される入射光量の積分値を代入して投影光学系 P L の透過率（減衰率）を推定し、この減衰率に応じて例えばエキシマレーザ光源 1 の出力を制御することで露光量を制御することにより、投影光学系の減衰率変動（透過率変動）によって発生する基板上での照度変動（又はパルスエネルギー変動）に起因した露光量の制御精度の劣化を防止する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AL	アルバニア	FI	フィンランド	LK	スリ・ランカ	SI	スロヴェニア
AM	アルメニア	FR	フランス	LR	リベリア	SK	スロヴァキア
AT	オーストリア	GA	ガボン	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ
AU	オーストラリア	GB	英国	LT	リトアニア	SN	セネガル
AZ	アゼルバイジャン	GD	グレナダ	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE	グルジア	LV	ラトヴィア	TD	チャード
BB	バルバドス	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BE	ベルギー	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BF	ブルキナ・ファソ	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BG	ブルガリア	GW	ギニア・ビサウ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR	トルコ
BJ	ベナン	GR	ギリシャ		共和国	TT	トリニダード・トバゴ
BR	ブラジル	HR	クロアチア	ML	マリ	UA	ウクライナ
BY	ベラルーシ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UG	ウガンダ
CA	カナダ	ID	インドネシア	MR	モーリタニア	US	米国
CF	中央アフリカ	IE	アイルランド	MW	マラウイ	UZ	ウズベキスタン
CG	コンゴ	IL	イスラエル	MX	メキシコ	VN	ヴェトナム
CH	スイス	IN	インド	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラビア
CI	コートジボアール	IS	アイスランド	NL	オランダ	ZW	ジンバブエ
CM	カメルーン	IT	イタリア	NO	ノールウェー		
CN	中国	JP	日本	NZ	ニュー・ジーランド		
CU	キューバ	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CY	キプロス	KG	キルギスタン	PT	ポルトガル		
CZ	チェッコ	KP	北朝鮮	RO	ルーマニア		
DE	ドイツ	KR	韓国	RU	ロシア		
DK	デンマーク	KZ	カザフスタン	SD	スーダン		
EE	エストニア	LC	セントルシア	SE	スウェーデン		
ES	スペイン	LI	リヒテンシュタイン	SG	シンガポール		

## 明 細 書

投影露光装置、該装置の製造方法、該装置を用いた露光方法、及び該装置を用いた回路デバイスの製造方法

5

## 発明の属する技術分野

本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのリソグラフィ工程でマスクパターンを投影光学系を介して基板上に転写するために使用される投影露光装置、この投影露光装置の製造方法、この投影露光装置を用いた露光方法、及びこの投影露光装置を用いた回路デバイスの製造方法に関する。

10

## 発明の背景

半導体デバイスの集積度及び微細度の向上に対応するため、半導体デバイスを製造するためのリソグラフィ工程（代表的にはレジスト塗布工程、露光工程、及びレジスト現像工程からなる）を担う露光装置においては、解像力、及び転写忠実度等をより高めることが要求されている。このように解像力、及び転写忠実度を高めるためには、先ず基板としてのウエハ上に塗布されたレジストを適正露光量で露光するための露光量制御を高精度に行う必要がある。

15

現在、半導体デバイスの製造現場では、主に水銀放電灯の輝線のうち波長 365 nm の i 線を露光用の照明光として、レチクルからウエハへの投影倍率が 1/5 倍の縮小投影光学系を用いたステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（ステッパー）が多用されている。また、ここ数年の動向として、ウエハ上に形成される回路デバイスのサイズ（チップサイズ）の大型化に伴って縮小投影光学系の投影視野が極端に大きくなるのを避けるために、その投影光学系の物体面側の視野内でレチクルを所定方向に等速走査しつつ、その投影光学系の像面側の視野内でウエハを対応する方向に縮小倍率と同じ速度比で等速走査することで、レチクルの回路パターンの全体像をウエハ上の各領域に走査露光するステップ・アンド・スキャン方式の縮小投影露光装置も注目されている。

20

25

従来の露光量制御では、投影光学系の露光用の照明光に対する透過率は短時間

には変動しないものとして、例えば露光直前の或る時点で計測した投影光学系の透過率を用いて、照明光学系内で分岐された照明光の光量とその透過率とからウエハの表面での露光量を計算していた。そして、ステッパーであれば、その計算される露光量の積算値が所定値となるように露光時間を制御し、ステップ・アンド・スキャン方式であれば、その計算される露光量が一定の値になるように光源の出力、又は走査速度を制御していた。

最近では、露光波長を短波長化して解像力をより高めるために、露光用の照明光としてエキシマレーザ光源からの波長250 nm程度以下の紫外パルス光を用いたステップ・アンド・リピート方式、及びステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置が開発され、波長248 nmのKrFエキシマレーザ光源を使用した投影露光装置は製造ラインに本格的に投入され始めている。更に、より短波長の波長193 nmの紫外パルス光を出力するArFエキシマレーザ光源も開発されており、これは今後の露光用光源として有望視されている。

このArFエキシマレーザ光源を露光光源として用いる場合、その紫外パルス光の自然発振状態での波長帯域内には酸素の吸収帯が幾つか存在するため、パルス光の波長特性をそれらの吸収帯を避けた波長に狭帯化することが必要となる。更に、露光光源からレチクルまでの照明光路内やレチクルからウエハまでの投影光路内に極力酸素が含まれないような環境にすること、即ちそれらの照明光路や投影光路の大部分を不活性ガス（窒素ガスやヘリウムガス等）で置換することも必要となる。そのようなArFエキシマレーザ光源を用いた投影露光装置の一例は、例えば米国特許第5,559,584号（特開平6-260385号公報、特開平6-260386号公報）に開示されている。

以上のようなエキシマレーザ光源からの紫外パルス光（波長250 nm程度以下）に対して所望の透過率を有する実用的な光学硝材としては、現在の所、石英（SiO<sub>2</sub>）とホタル石（蛍石：CaF<sub>2</sub>）との2つが知られているだけである。もちろん、その他にフッ化マグネシウムやフッ化リチウム等も知られているが、投影露光装置用の光学硝材とするためには、加工性の問題、耐久性の問題等を解決しておく必要がある。

これに関して、投影露光装置に搭載される投影光学系としては、ジオブトリッ

ク系（屈折系）の他に、屈折光学素子（レンズ素子）と反射光学素子（特に凹面鏡）との組み合わせで構成したカタジオプトリック系（反射屈折系）も使用されている。何れのタイプの投影光学系を採用するにしても、屈折光学素子（透過性光学素子）を使うことには変わりなく、現時点では屈折光学素子として石英とホタル石との2種類の硝材を使わざるを得ない。更に屈折光学素子にしろ反射光学素子にしろ、その表面には反射防止膜や保護層等の多層膜が蒸着され、光学素子単体としての性能が所定の状態になるように製造されている。ここで特に注目すべき性能は、レンズ素子単体の透過率の絶対値、あるいは反射光学素子単体の反射率の絶対値がどの程度大きく取れるかである。

- 10 例えばレンズ素子単体の場合、一般に光の入射面と射出面との2面の両方に反射防止膜等をコートし、極力透過率を高めるように工夫されている。投影光学系のように精密な結像光学系においては、各種の収差特性を良好に補正するために使用するレンズ素子が20～30枚と多く、各レンズ素子の透過率が100%より僅かに低いだけで投影光学系全体の透過率はかなり小さくなる（投影光学系全体の減衰率はかなり大きくなる）。また、幾つかの反射光学素子を含む投影光学系でも、各反射光学素子の反射率が低いときには投影光学系全体の透過率も低くなり、投影光学系全体の減衰率はかなり大きくなる。

- 例えば、投影光学系の結像光路を構成するレンズ素子が25枚の場合、それらレンズ素子の個々の透過率を96%とすると、投影光学系全体としての透過率 $\epsilon$ は約36%（ $\equiv 0.96^{25} \times 100$ ）とかなり小さくなる。投影光学系の透過率が低い場合に、レチクルの回路パターン像をウエハ上に露光するための照明光の強度（エネルギー）の増大を図るか、又はより感度の高い紫外線用レジストを使用するかの対策を取らないと、露光時間の増大によってスループットが低下する。そこで、投影露光装置側で実現可能な対策として、より高出力なエキシマレーザ光源を用意することが考えられる。

ところが、エキシマレーザ光源を用いた比較的フィールドサイズの大きい投影露光装置によって各種の露光実験をしたところ、紫外波長域の照明光（KrFエキシマレーザ光、又はArFエキシマレーザ光等）の照射によって、短時間の間に投影光学系内の光学素子、あるいは光学素子のコート材（例えば反射防止膜等

の薄膜)の透過率がダイナミックに変動するといった新たな現象が発見された。この現象は、投影光学系内の光学素子のみならず、レチクルを照明する照明光学系の内の光学素子や、レチクル(石英板)自体についても全く同様に発生し得ることが分かってきた。

- 5- そのような現象は、投影光路内や照明光路内の空間に存在する気体(空気、窒素ガス等)中に含まれる不純物、光学素子を鏡筒に固定するための接着剤等から発生する有機物質の分子、或いはその鏡筒の内壁(反射防止用の塗装面等)から発生する不純物(例えば水分子、炭化水素の分子、又はこれら以外の照明光を拡散する物質)が光学素子の表面に付着したり照明光路内に進入(浮遊)することで起こるものと考えられている。その結果、投影光学系の透過率(減衰率)や照明光学系の透過率(減衰率)が比較的大きく変動するといった不都合が生じる。

例えば上記のレンズ素子が25枚で透過率 $\epsilon$ が約36%の投影光学系で、レンズ素子単体の透過率が仮に一律に1%だけ低下したとすると、投影光学系全体の透過率 $\epsilon$ は約27.7%( $\approx 0.95^{25} \times 100$ )に低下してしまう。

- 15- このような透過率の変動は、ウエハ上に与えるべき露光量を適正值から異ならせ、ウエハ上に転写される設計線幅0.25~0.18 $\mu\text{m}$ 程度の微細パターンの転写忠実度を劣化させる恐れがある。従来の投影露光装置では、例えば特開平2-135723号公報(米国特許第5,191,374号)に開示されているように、照明光学系の光路内の所定の位置で照明光の光強度を検出し、その光強度に基づいて適正露光量が得られるようにエキシマレーザ光源からのパルス光の強度(1パルス当たりのエネルギー)を調整している。このため従来の投影露光装置では、露光量制御のために照明光の強度を検出している照明光路内の部分以降の照明光学系や投影光学系の透過率変動が全く加味されず、正確な露光量制御ができなくなる恐れがあった。

- 25- また、投影光学系に対する紫外パルス光の照射を停止した場合には、次第にその投影光学系の透過率が回復(変動)するという現象も見いだされている。このような場合に、再び紫外パルス光の照射を開始して露光を再開すると、投影光学系の透過率が変動しているため、正確な露光量制御が困難になる恐れがある。

発明の概要

本発明は斯かる点に鑑み、投影光学系の透過率変動によって発生する基板上での照度変動（又はパルスエネルギー変動）に起因した露光量の制御精度の劣化を防止した投影露光装置と、その製造方法を提供することを第1の目的とする。

更に本発明は、そのような投影露光装置を用いて良好な露光量制御精度が得られる露光方法を提供することを第2の目的とする。

更に本発明は、そのような投影露光装置を用いて高い転写忠実度で回路パターンを基板上に形成できる回路デバイスの製造方法を提供することを第3の目的とする。

本発明による投影露光装置は、マスクに形成されたパターンを所定の露光エネルギービームで照射し、該マスクのパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影する投影露光装置において、前記投影光学系に入射する入射総エネルギーに応じた前記投影光学系の減衰率変動を記憶する減衰率特性記憶系と、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを算出し、該入射総エネルギー値と減衰率特性記憶系に記憶された前記減衰率変動とに基づいて、露光時における前記投影光学系の減衰率を求める系とを具備するものである。

前記減衰率変動は、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギー値の関数である。前記マスクの透過率に基づいて、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを算出することができる。

前記投影露光装置は、前記露光エネルギービームと前記マスクとを相対走査して、前記マスクのパターンの像を前記基板上に投影するものであってもよい。

前記露光エネルギービームと前記マスクとの相対位置情報を利用して、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを算出することもできる。前記相対位置情報は、前記露光エネルギービームと前記マスクとの相対位置に応じた前記マスクの光学特性である。このマスクの光学特性は、前記マスクの透過率特性を含む。

前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを計測する入射エネルギー計測系を更に装備してもよい。また、前記投影光学系からの射出エネルギーを計測する射出エネルギー計測系を更に装備してもよい。さらに、前記入射エネルギー計測系と前記射出エネルギー計測系との計測結果に基づいて、前

記減衰率変動を求めるようにしてもよい。前記減衰率変動に基づいて、前記基板上に与えられる露光量を制御する露光制御系を更に装備してもよい。

前記減衰率特性記憶系は、前記入射総エネルギーに対する前記投影光学系の減衰率の他に、前記露光エネルギービームの前記投影光学系への照射を停止した後  
5 の経過時間に対する前記投影光学系の減衰率変動を記憶するようにしてもよい。

前記露光エネルギービームは、紫外域の波長を有するエネルギービームが使用される。

ここで、投影光学系PLとしてジオプトリック系（屈折系）を使用した場合、主にそのレンズ素子の透過率の変化が投影光学系PLの光学的特性に大きく影響  
10 を及ぼして、投影光学系PLの減衰率がレンズ素子の透過率の変化によって変動する。一方、投影光学系PLとして、カタジオプトリック系（反射屈折系）を使用した場合、そのレンズ素子の透過率の変化の他に反射光学素子の反射率の変化が投影光学系PLの光学的特性に大きく影響を及ぼし、投影光学系PLの減衰率がレンズ素子の透過率の変化と反射光学素子の反射率の変化によって変動する。

したがって、本明細書では、“投影光学系PLの減衰率”を使用する。そして、この投影光学系PLの減衰率の変動は、ジオプトリック系（屈折系）を使用した投影光学系PLの場合では、透過率の変動を意味し、カタジオプトリック系（反射屈折系）を使用した投影光学系PLの場合では、透過率の変動と反射率の変動を意味する。

斯かる本発明によれば、投影光学系に入射する入射総エネルギーのエネルギー値の関数として投影光学系の減衰率変動を記憶しておき、実際の露光時には露光開始、即ち露光エネルギービームの照射開始時から投影光学系に入射するエネルギーを計測し、このエネルギー値を先に記憶しておいた減衰率変動に代入することによって、ほぼリアルタイムで高精度に投影光学系の減衰率が推定できる。し  
25 たがって、減衰率の変化を相殺するように露光量を制御することによって、投影光学系の減衰率変動によって発生する基板上での照度変動（又はパルスエネルギー変動）に起因した露光量の制御精度の劣化が防止できる。

また、減衰率特性記憶系は、露光エネルギービームの照射を停止した後の経過時間に対する投影光学系の減衰率変動を記憶することが望ましい。これによって、



露光エネルギービームの照射の中断後に投影光学系の透過率、反射率等の光学的特性がすぐに十分回復しない場合でも、高精度に投影光学系の減衰率の変化を推定できる。

また、マスク及び基板をそれぞれ移動するステージ系を備え、露光時にそのステージ系を介してそのマスク及びその基板をその投影光学系に対して相対的に同期走査してもよい。これは本発明を走査露光方式の投影露光装置に適用したことを意味する。この場合、露光量を制御するためには、露光光源の出力を制御する他に、走査速度を制御してもよい。

本発明の投影露光装置の製造方法は、マスクに形成されたパターンを所定の露光エネルギービームで照射し、該マスクのパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影する投影露光装置の製造方法において、前記投影光学系に入射する入射総エネルギーに応じた前記投影光学系の減衰率変動を記憶する減衰率特性記憶系を装備するステップと、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを算出し、該入射総エネルギー値と減衰率特性記憶系に記憶された前記減衰率変動とに基づいて、露光時における前記投影光学系の減衰率を求める系を装備するステップとを具備してなる。

また、本発明の露光方法は、マスクに形成されたパターンを所定の露光エネルギービームで照射し、該マスクのパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影する露光方法にして、前記投影光学系に入射する入射総エネルギーに応じた前記投影光学系の減衰率変動を求めることと、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギー値と前記減衰率変動とに基づいて、前記投影光学系の減衰率を求めることからなる。

ここで、投影光学系の減衰率を計測する際に、マスクのパターン存在率（又はパターン透過率）で補償し、基板に対する露光時に、マスクのパターン存在率で補償して得られる減衰率に基づいてその基板に対するその露光エネルギービームの露光量を制御することが望ましい。これによって、マスクのパターン存在率（パターン透過率）の影響で投影光学系の減衰率が誤計測されることが防止される。

また、本発明の回路デバイスの製造方法は、マスクのパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影して所定の回路デバイスを製造するための回路デバイス

の製造方法であって、前記基板上に感光材料を塗布する第 1 工程と、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーに対する前記投影光学系の減衰率変動と、該入射総エネルギーとに基づいて、露光時における前記投影光学系の減衰率を求め、該減衰率を使って前記基板上への露光量を制御して前記マスクの5 パターンの像を前記基板に露光する第 2 行程と、前記基板の現像を行う第 3 行程とを有するものである。これにより、露光工程で適正な露光量が得られるため、回路パターンの転写忠実度が向上する。

#### 図面の簡単な説明

- 図 1 は本発明の実施の形態で使用される投影露光装置を示す概略構成図である。
- 10 図 2 は本発明の実施の形態で投影光学系 P L の透過率（減衰率）の計測を行うために、照射量モニタ 3 2 を投影光学系 P L の露光領域に移動した状態を示す一部機能ブロック図を含む構成図である。
- 図 3 は本発明の第 1 の実施の形態における投影光学系 P L の透過率（減衰率）計測動作、及び露光動作を示すフローチャートである。
- 15 図 4 は本発明の第 2 の実施の形態における投影光学系 P L の透過率（減衰率）計測動作、及び露光動作を示すフローチャートである。
- 図 5 は本発明の第 3 の実施の形態における投影光学系 P L の透過率（減衰率）計測動作、及び露光動作を示すフローチャートである。
- 図 6 はその第 3 の実施の形態で計測される紫外パルス光の照射停止以後の投影20 光学系 P L の透過率（減衰率）の変化の一例を示す図である。
- 図 7 はその第 3 の実施の形態において回路パターンを形成する工程の一例を示すフローチャートである。

#### 発明を実施する最良の形態

- 以下、本発明の第 1 の実施の形態につき図面を参照して説明する。本例は、ス25 テップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置で露光を行う場合に本発明を適用したものである。

図 1 は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図 1 において、A r F エキシマレーザ光源 1 からの波長 193 nm で狭帯化された露光光としての紫外パルス光 I L は、露光装置本体との間で光路を位置的にマッチングさせるための可

動ミラー等を含むビームマッチングユニット（BMU）3を通り、遮光性のパイプ5を介して光アッテネータとしての可変減光器6に入射する。ウエハ上のレジストに対する露光量を制御するための露光制御ユニット30が、ArFエキシマレーザ光源1の発光の開始及び停止、並びに発振周波数、及びパルスエネルギーで定まる出力を制御すると共に、可変減光器6における紫外パルス光に対する減光率を段階的、又は連続的に調整する。なお、露光光としては、波長248nmのKrFエキシマレーザ光、又はその他の波長250nm程度以下のレーザ光等を使用する場合にも本発明が適用される。

可変減光器6を通った紫外パルス光ILは、所定の光軸に沿って配置されるレンズ系7A、7Bよりなるビーム整形光学系を経てフライアイレンズ11に入射する。このように、本例ではフライアイレンズ11は1段であるが、照度分布均一性を高めるために、例えば特開平1-235289号公報（米国特許第5,307,207号）に開示されているように、フライアイレンズを直列に2段配置するようにしてもよい。フライアイレンズ11の射出面には照明系の開口絞り系12が配置されている。開口絞り系12には、通常照明用の円形の開口絞り、複数の偏心した小開口よりなる変形照明用の開口絞り、輪帯照明用の開口絞り等が切り換え自在に配置されている。フライアイレンズ11から射出されて開口絞り系12中の所定の開口絞りを通過した紫外パルス光ILは、減衰率が高く反射率が低いビームスプリッタ8に入射する。ビームスプリッタ8で反射された紫外パルス光は、光電検出器よりなるインテグレータセンサ9に入射し、インテグレータセンサ9の検出信号は露光制御ユニット30に供給されている。

ビームスプリッタ8の透過率、及び反射率は予め高精度に計測されて、露光制御ユニット30内のメモリに記憶されており、露光制御ユニット30は、インテグレータセンサ9の検出信号より間接的に投影光学系PLに対する紫外パルス光ILの入射光量、及びその積分値をモニタできるように構成されている。なお、投影光学系PLに対する入射光量をモニタするためには、図1中に2点鎖線で示すように、例えばレンズ系7Aの前にビームスプリッタ8Aを配置し、このビームスプリッタ8Aからの反射光を光電検出器9Aで受光し、光電検出器9Aの検出信号を露光制御ユニット30に供給するようにしてもよい。

ビームスプリッタ 8 を透過した紫外パルス光 I L は、コンデンサレンズ系 1 4 を経てレチクルブラインド機構 1 6 内の固定照明視野絞り（固定ブラインド） 1 5 A に入射する。固定ブラインド 1 5 A は、例えば特開平 4 - 1 9 6 5 1 3 号公報（米国特許第 5, 4 7 3, 4 1 0 号）に開示されているように、投影光学系 P L の円形視野内の中央で走査露光方向と直交した方向に直線スリット状、又は矩形状（以下、まとめて「スリット状」と言う）に伸びるように配置された開口部を有する。更に、レチクルブラインド機構 1 6 内には、固定ブラインド 1 5 A とは別に照明視野領域の走査露光方向の幅を可変とするための可動ブラインド 1 5 B が設けられ、この可動ブライント 1 5 B によってレチクルステージの走査移動ストロークの低減、レチクル R の遮光帯の幅の低減を図っている。可動ブラインド 1 5 B の開口率の情報は露光制御ユニット 3 0 にも供給され、インテグレートセンサ 9 の検出信号から求められる入射光量にその開口率を乗じた値が、投影光学系 P L に対する実際の入射光量となる。

レチクルブラインド機構 1 6 の固定ブラインド 1 5 A でスリット状に整形された紫外パルス光 I L は、結像用レンズ系 1 7、反射ミラー 1 8、及び主コンデンサレンズ系 1 9 を介して、レチクル R の回路パターン領域上で固定ブラインド 1 5 A のスリット状の開口部と相似な照明領域を一様な強度分布で照射する。即ち、固定ブラインド 1 5 A の開口部、又は可動ブラインド 1 5 B の開口部の配置面は、結像用レンズ系 1 7 と主コンデンサレンズ系 1 9 との合成系によってレチクル R のパターン面とほぼ共役となっている。

紫外パルス光 I L のもとで、レチクル R の照明領域内の回路パターンの像が両側テレセントリックな投影光学系 P L を介して所定の投影倍率  $\beta$ （ $\beta$  は例えば  $1/4$ 、 $1/5$  等）で、投影光学系 P L の結像面に配置されたウエハ W 上のレジスト層のスリット状の露光領域に転写される。その露光領域は、ウエハ上の複数のショット領域のうちの 1 つのショット領域上に位置している。本例の投影光学系 P L は、ジオプトリック系（屈折系）であるが、カタジオプトリック系（反射屈折系）も使用できることは言うまでもない。以下、投影光学系 P L の光軸 A X に平行に Z 軸を取り、Z 軸に垂直な平面内で走査方向（ここでは図 1 の紙面に平行な方向）に X 軸を取り、走査方向に直交する非走査方向（ここでは図 1 の紙面に

垂直な方向)にY軸を取って説明する。

このとき、レチクルRは、レチクルステージ20A上に吸着保持され、レチクルステージ20Aは、レチクルベース20B上にX方向に等速移動できると共に、X方向、Y方向、回転方向に微動できるように載置されている。レチクルステージ20A(レチクルR)の2次元的位置、及び回転角は駆動制御ユニット22内のレーザ干渉計によってリアルタイムに計測されている。この計測結果、及び装置全体の動作を統轄制御するコンピュータよりなる主制御系27からの制御情報に基づいて、駆動制御ユニット22内の駆動モータ(リニアモータやボイスコイルモータ等)は、レチクルステージ20Aの走査速度、及び位置の制御を行う。

- 10 一方、ウエハWは、ウエハホルダWHを介してZチルトステージ24Z上に吸着保持され、Zチルトステージ24Zは、投影光学系PLの像面と平行なXY平面に沿って2次元移動するXYステージ24XY上に固定され、Zチルトステージ24Z及びXYステージ24XYよりウエハステージ24が構成されている。Zチルトステージ24Zは、ウエハWのフォーカス位置(Z方向の位置)、及び傾斜角を制御してウエハWの表面をオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で投影光学系PLの像面に合わせ込み、XYステージ24XYはウエハWのX方向への等速走査、及びX方向、Y方向へのステッピングを行う。Zチルトステージ24Z(ウエハW)の2次元的位置、及び回転角は駆動制御ユニット25内のレーザ干渉計によってリアルタイムに計測されている。この計測結果及び
- 15 主制御系27からの制御情報に基づいて、駆動制御ユニット25内の駆動モータ(リニアモータ等)は、XYステージ24XYの走査速度、及び位置の制御を行う。ウエハWの回転誤差は、主制御系27及び駆動制御ユニット22を介してレチクルステージ20Aを回転することで補正される。

- 25 主制御系27は、レチクルステージ20A、及びXYステージ24XYのそれぞれの移動位置、移動速度、移動加速度、位置オフセット等の各種情報を駆動制御ユニット22及び25に送る。そして、走査露光時には、レチクルステージ20Aを介して紫外パルス光ILの照明領域に対してレチクルRが+X方向(又は-X方向)に速度 $V_r$ で走査されるのに同期して、XYステージ24XYを介してレチクルRのパターン像の露光領域に対してウエハWが-X方向(又は+X方

向)に速度 $\beta \cdot V_r$  ( $\beta$ はレチクルRからウエハWへの投影倍率)で走査される。

また、主制御系27は、上述のレチクルブラインド機構16内に設けられている可動ブラインド16Bの各ブレードの移動を走査露光時のレチクルステージ20Aの移動と同期するための制御を行う。更に主制御系27は、ウエハW上の各  
5 ショット領域のレジストを適正露光量で走査露光するための各種露光条件を設定して、露光制御ユニット30とも連携して最適な露光シーケンスを実行する。即ち、ウエハW上の1つのショット領域への走査露光開始の指令が主制御系27から露光制御ユニット30に発せられると、露光制御ユニット30はArFエキシマレーザ光源1の発光を開始すると共に、インテグレータセンサ9を介して投影  
10 光学系PLに対する入射光量の積分値を算出する。その積分値は走査露光開始時に0にリセットされている。そして、露光制御ユニット30では、後述のようにその入射光量の積分値より投影光学系PLの透過率(減衰率)を逐次算出し、この透過率(減衰率)に応じて、走査露光後のウエハW上のレジストの各点で適正露光量が得られるように、ArFエキシマレーザ光源1の出力(発振周波数、及  
15 びパルスエネルギー)及び可変減光器6の減光率を制御する。そして、当該ショット領域への走査露光の終了時に、ArFエキシマレーザ光源1の発光が停止される。

また、本例のZチルトステージ24Z上のウエハホルダWHの近傍には光電検出器よりなる照射量モニタ32が設置され、照射量モニタ32の検出信号も露光  
20 制御ユニット30に供給されている。照射量モニタ32は、投影光学系PLによる露光領域の全体を覆う大きさの受光面を備え、XYステージ24XYを駆動してその受光面を投影光学系PLの露光領域を覆う位置に設定することで、投影光学系PLを通過した紫外パルス光ILの光量を計測できる。本例では、インテグ  
レータセンサ9及び照射量モニタ32の検出信号を用いて投影光学系PLの透過  
25 率(減衰率)を計測する。なお、照射量モニタ32の代わりに、その露光領域内の光量分布を計測するためのピンホール状の受光部を有する照度むらセンサを使用してもよい。

本例ではArFエキシマレーザ光源1を用いているため、パイプ5内から可変減光器6、レンズ系7A、7B、更にフライアイレンズ11～主コンデンサレン

ズ系 19 までの各照明光路を外気から遮断するサブチャンバ 35 が設けられ、そのサブチャンバ 35 内の全体には配管 36 を通して酸素含有率を極めて低く抑えた乾燥窒素ガス ( $N_2$ ) が供給される。同様に、投影光学系 PL の鏡筒内部の空間 (複数のレンズ素子間の空間) の全体にも配管 37 を介して乾燥窒素ガスが供給される。

その乾燥窒素ガスの供給は、サブチャンバ 35 や投影光学系 PL の鏡筒の気密性が高い場合は、一度大気との完全な置換が行われた後はそれ程頻繁に行う必要はない。しかしながら、光路内に存在する各種の物質 (硝材、コート材、接着剤、塗料、金属、セラミックス等) から生じる水分子や炭化水素分子等が光学素子の表面に付着して起こる透過率 (減衰率) 変動を考慮すると、温度制御された窒素ガスを光路内で強制的にフローさせつつ、ケミカルフィルタや静電フィルタによってそれらの不純物分子を除去していくことも必要である。

次に、本例の投影露光装置における投影光学系 PL の透過率 (減衰率) 計測系につき図 2 を参照して説明する。投影光学系 PL の透過率 (減衰率) 計測を行う場合には、図 2 に示すように、XY ステージ 24 XY を駆動して照射量モニタ 32 の受光面が投影光学系 PL の露光領域に設定される。そして、ArF エキシマレーザ光源 1 のパルス発光が開始されて、ビームスプリッタ 8 に入射する紫外パルス光 IL の一部が反射されて、紫外パルス光 IL1 としてインテグレートセンサ 9 に入射する。これと共に、投影光学系 PL を通過した紫外パルス光 IL2 は、照射量モニタ 32 に入射し、インテグレートセンサ 9 の検出信号、及び照射量モニタ 32 の検出信号は並列に露光制御ユニット 30 に取り込まれる。

図 2 において、インテグレートセンサ 9 の検出信号は、露光制御ユニット 30 内でピークホールド (P/H) 回路 61、及びアナログ・デジタル変換器 (以下、「ADC」と呼ぶ) 62 を介して入射エネルギー  $E_i$  として直接透過率 (減衰率) 計算部 63、及び入射光量積分部 64 に供給されている。直接透過率 (減衰率) 計算部 63、入射光量積分部 64、及び後述の透過率 (減衰率) 演算部 67、制御部 69 は、本例ではそれぞれマイクロプロセッサによって実行されるソフトウェア上の機能を表すものであるが、それらの機能をそれぞれハードウェアで実現してもよいことは言うまでもない。

一方、照射量モニタ 32 の検出信号は、露光制御ユニット 30 内でピークホール  
ルド回路 65、及び ADC 66 を介して透過エネルギー  $E_o$  として直接透過率（減  
衰率）計算部 63 に供給されている。直接透過率（減衰率）計算部 63 では、透  
過エネルギー  $E_o$  を入射エネルギー  $E_i$  で除算して投影光学系 PL の透過率（減  
5 衰率） $T (=E_o/E_i)$  を算出し、算出した透過率（減衰率） $T$  を透過率（減  
衰率）演算部 67 に供給する。また、入射光量積分部 64 では、入射する紫外パ  
ルス光毎に入射エネルギー  $E_i$  を積分（積算）して入射総エネルギー  $e$  を算出し、  
算出した入射総エネルギー  $e$  を透過率（減衰率）演算部 67 に供給する。入射総  
エネルギー  $e$  は、パルス発光の開始直前に 0 にリセットされている。透過率（減  
10 衰率）演算部 67 は、供給される透過率（減衰率） $T$  を供給される入射総エネ  
ルギー  $e$  の関数（2 次以上の高次関数、又は指数関数等） $T(e)$  で近似し、この  
関数  $T(e)$  をメモリ 68 に格納する。そして、露光時に透過率（減衰率）演算  
部 67 は、入射光量積分部 64 から供給される入射総エネルギー  $e$  をそのメモリ  
68 から読み出された関数  $T(e)$  に代入することによって現在の投影光学系 P  
15 L の透過率（減衰率） $T(now)$  を求め、この透過率（減衰率） $T(now)$   
を制御部 69 に供給する。不図示であるが、制御部 69 には、ADC 62 からの  
入射エネルギー  $E_i$  も供給されており、制御部 69 では、その入射エネルギー  $E_i$   
、及び透過率（減衰率） $T(now)$  を用いてウエハ W 上のレジストの各点で  
の紫外パルス光の露光量が適正露光量となるように ArF エキシマレーザ光源 1  
20 の出力、及び可変減光器 6 における透過率を制御する。

次に、本例において投影光学系 PL の透過率（減衰率）の変化を計測し、その  
計測結果に基づいて露光量制御を行いながら走査露光を行う場合の動作につき、  
図 3 のフローチャートを参照して説明する。その透過率（減衰率）の計測は、例  
えば投影露光装置の稼働開始時や露光動作開始時等に行われる。

25 先ず、図 3 のステップ 101 において、図 2 に示すように、照射量モニタ 32  
の受光面が投影光学系 PL の露光領域に設定され、固定ブラインド 15A 及び可  
動ブラインド 15B の総合的な開口率が 100% に設定される。この例では、投  
影光学系 PL に対する入射エネルギーの最大値と透過率（減衰率）との関係を求  
めるのが目的であるため、レチクル R がレチクルステージ 20A から取り外され、



レチクルステージ 20 A の走査も行われぬ。そして、A r F エキシマレーザ光源 1 のパルス発光が開始される。

- それに続くステップ 102 において、図 2 の露光制御ユニット 30 ではインテグレートセンサ 9 及び照射量モニタ 32 の出力信号を並列に取り込むことによつて、投影光学系 P L に実際に入射するエネルギーに対応する入射エネルギー  $E_i$ 、及び投影光学系 P L を実際に通過するエネルギーに対応する透過エネルギー  $E_o$  が生成される。そして、パルス発光毎に、図 2 の入射光量積分部 64 では、入射エネルギー  $E_i$  を積分してそれまでの入射総エネルギー  $e$  を算出し、直接透過率（減衰率）計算部 63 では透過率（減衰率） $T (=E_o / E_i)$  を算出する。この動作は計測終了までパルス発光毎に連続的に実行される。なお、露光光が連続光であれば、ピークホールド回路 61、65 の変わりにサンプルホールド回路を使用して、入射光量積分部 64 では検出信号を所定のサンプリングレートで順次積算すればよく、直接透過率（減衰率）計算部 63 では所定の時間間隔で透過率（減衰率） $T$  を算出すればよい。
- 次に、ステップ 103 において、露光制御ユニット 30 内の透過率（減衰率）演算部 67 では、例えば 1 ショットの露光時間に対して十分短い間隔になるような計測間隔で、各計測時点での入射総エネルギー  $e$ 、及び透過率（減衰率） $T$  を取り込む。次のステップ 104 では、計測終了かどうか判定されるが、計測終了時の入射総エネルギー  $e$  が 1 ショットの露光の間に蓄積される入射総エネルギーに対して十分大きくなるように計測時間が設定されている。計測時間は、一例として数 sec ~ 数 10 sec である。そして、ステップ 103 の透過率（減衰率）演算部 67 による計測データの取り込み動作（計算動作）を所定の計測間隔で繰り返して、所定の計測時間が経過した後、動作はステップ 104 からステップ 105 に移行して、透過率（減衰率）演算部 67 では、一連の入射総エネルギー  $e$  の関数として投影光学系 P L の透過率（減衰率） $T(e)$  を求めてメモリ 68 に格納する。これは、入射エネルギー  $E_i$  に対する投影光学系 P L の透過率（減衰率）変化の状態を記憶するのと等価である。その透過率（減衰率）の関数  $T(e)$  は走査露光中のステップ 109 で使用される。

その後、走査露光を行う場合、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装

置ではステップ・アンド・リピート方式とは異なり、露光量制御を走査速度と露光光源の光量制御（可変減光器 6 の減光率制御を含む）との両方を用いて行うことが行われる。即ち、ウエハ上の 1 点について考えると、その点が投影光学系 P L によるスリット状の露光領域を通過する時間中に、レジスト感度等から定まる  
 5 所定の露光量とその点に対して照射されるようにウエハステージ 2 4 の走査速度及び露光光源の光量を制御する。

ここで、A r F エキシマレーザ光源 1 の単位時間当たりの出力（即ち、発振周波数×パルスエネルギー）の基準値を  $E_0$  [W] とする。更に、以下ではその出力は可変減光器 6 での減光率を乗じた値とする。そして、投影光学系 P L の初期減  
 10 衰率を  $T_0$ 、スリット状の露光領域の面積を  $S$  [cm<sup>2</sup>]、その露光領域の走査方向の長さを  $L$  [mm]、レジスト感度を  $I$  [J/cm<sup>2</sup>] とすると、走査露光時のウエハステージ 2 4 の走査速度の初期値  $Vw_0$  [mm/sec] は、次のようになる。

$$Vw_0 = (L \cdot E_0 \cdot T_0) / (I \cdot S) \quad (1)$$

走査露光開始直後には、ウエハステージ 2 4 がその走査速度となるように、レ  
 15 チクル R とウエハ W との相対的な位置関係を維持しつつ走査が行われる。

即ち、走査露光が開始されると、図 3 のステップ 1 0 6 において、図 1 に示すようにレチクルステージ 2 0 A 上にレチクル R が載置され、ウエハステージ 2 4 上のウエハホルダ W H にレジストが塗布されたウエハ W がロードされる。そして、露光制御ユニット 3 0 内で入射総エネルギー  $e$  が 0 にリセットされた後、レチク  
 20 ルステージ 2 0 A 及びウエハステージ 2 4 の走査が開始され、走査の同期が取られた時点で A r F エキシマレーザ光源 1 のパルス発光が開始され、インテグレータセンサ 9 の検出信号の露光制御ユニット 3 0 への取り込みも開始される。その後、次第に可動ブラインド 1 5 B が開いてレチクル R のパターン像のウエハ W 上の当該ショット領域への転写が開始される。固定ブラインド 1 5 A、及び可動ブ  
 25 ラインド 1 5 B の総合的な開口率の情報は、図 2 の入射光量積分部 6 4 に供給されている。

そして、ステップ 1 0 7 において、パルス発光毎に図 2 のインテグレータセンサ 9、ピークホールド回路 6 1、及び A D C 6 2 を介して入射エネルギー  $E_i$  が計測され、この入射エネルギー  $E_i$  が順次入射光量積分部 6 4 に供給される。そ

- れに続くステップ108において、入射光量積分部64では、パルス発光毎に供給される入射エネルギー $E_i$ にそのときの開口率を乗じて得られるエネルギーを積算してそれまでの入射総エネルギー $e$ を求め、この露光開始からの入射総エネルギー $e$ を透過率（減衰率）演算部67に供給する。次のステップ109において、透過率（減衰率）演算部67では、メモリ68から読み出した透過率（減衰率）を表す関数 $T(e)$ （即ち、透過率データ）にその入射総エネルギー $e$ を代入して、所定の時間間隔で現在の投影光学系PLの透過率（減衰率） $T(now)$ を算出し、算出した透過率（減衰率） $T(now)$ を制御部69に供給する。この計算の頻度は、1ショットの露光時間に対して十分短くなるようにする。即ち、
- 10 1ショットの露光時間中において、複数回にわたって投影光学系PLの透過率（減衰率）計算を繰り返し、常にほぼリアルタイムで現時点での透過率（減衰率）を求めるようにする。

- 次のステップ110で、制御部69は、供給された透過率（減衰率） $T(now)$ に基づいて紫外パルス光ILの出力を制御する。ここでは、ウエハステージ
- 15 24の走査速度 $V_w$ を（1）式の $V_{w_0}$ から変化させないものとする、ウエハW上の各点での露光量を一定にするためには、紫外パルス光ILのウエハWの表面（ウエハ面）での照度（単位時間当たり、単位面積当たりのエネルギー）を一定にすればよい。即ち、投影光学系PLの透過率（減衰率） $T(now)$ の変化を相殺するように（その透過率（減衰率） $T(now)$ に反比例させて）、ArFエキシマレーザ光源1の出力を変化させればよい。具体的に、そのようにして求めた或る時点 $t$ における投影光学系PLの透過率（減衰率） $T(now)$ の値を $T_t$ 、投影光学系PLの初期透過率（減衰率）を $T_0$ 、ArFエキシマレーザ光源1の出力の基準値（初期値）を $E_0$ として、ウエハ面での紫外パルス光ILの照度を一定にするためのArFエキシマレーザ光源1の目標出力を $E_t$ とすると、 $E_t$ は以下
- 25 のように求められる。

$$E_t = E_0 \times (T_0 / T_t) \quad (2)$$

そこで、制御部69は、可変減光器6を通過する紫外パルス光ILの出力が（2）式より求めた目標出力 $E_t$ となるように、ArFエキシマレーザ光源1の出力（発振周波数、及びパルスエネルギー）、又は可変減光器6での減光率を制御する。次

に、ステップ111で走査露光が終了していないときには、動作は再びステップ107～110に戻って所定の時間間隔で投影光学系PLの透過率（減衰率）の計算、紫外パルス光ILの目標出力 $E_1$ の計算、及びArFエキシマレーザ光源1の出力制御が行われる。そして、走査露光が終了したときには、動作はステップ5 111からステップ112に移行して、ArFエキシマレーザ光源1の発光が停止され、1ショット分の露光が終了した後（ステップ113）、次のショット領域への露光動作が開始される（ステップ114）。次のショット領域の露光開始時には、投影光学系PLの透過率（減衰率）はステップ106での初期透過率（減衰率）にほぼ回復しているものとして透過率（減衰率）の計算が開始される。

- 10    このように本例によれば、インテグレータセンサ9を介して計測される投影光学系PLへの入射エネルギーの積分値に基づいて投影光学系PLの透過率（減衰率）をほぼリアルタイムで計測し、この計測結果に基づいてウエハ面での紫外パルス光ILの照度が一定になるようにArFエキシマレーザ光源1の出力を制御しているため、投影光学系PLの透過率（減衰率）が変化する場合でもウエハW
- 15    上の各ショット領域の全面を適正露光量で露光できる。

- なお、上述の実施の形態では、投影光学系PLの透過率（減衰率）に応じてArFエキシマレーザ光源1の出力を制御しているが、（1）式より分かるように、露光光源の出力 $E_0$ が一定であれば、投影光学系PLの透過率（減衰率） $T_0$ とウエハステージ24の走査速度 $V_w$ とは比例する関係にある。そこで、投影光学系
- 20    PLの透過率（減衰率） $T(now)$ が変化した場合には、露光光源の出力を一定にしておいて、透過率（減衰率） $T(now)$ に比例してウエハステージ24の走査速度を制御してもよい。但し、この制御は、走査速度がステージ系で定まる上限に達しない範囲で行うことができる。

- 次に、本発明の第2の実施の形態につき説明する。本例でも図1の投影露光装置
- 25    を使用するが、投影光学系PLの透過率（減衰率）の変化の計測方法が異なっている。そこで、本例における投影光学系PLの透過率（減衰率）の変化の計測動作、及び走査露光動作につき、図4のフローチャートを参照して説明する。本例では投影光学系PLの透過率（減衰率）変化を計測する際に、実際に露光するレチクルRを使用してこれを実際の露光時と同様に走査させる。この計測の際の

図1のレチクルステージ20A（レチクルR）の走査速度を $V_m$ 、ArFエキシマレーザ光源1の出力を $E_m$ として、それらの実際の走査露光時の走査速度を $V_e$ 、出力を $E_e$ とすると、これらの間には以下の関係が成り立つようにする。

$$V_m/E_m = V_e/E_e \quad (3)$$

- 5      即ち、走査開始から或る任意の位置までレチクルRを走査する間に投影光学系PLに入射する総光量が、計測時と走査露光時とで同一になるようにする。当然ながら、 $V_m = V_e$ となるのが望ましい。なお、この計測の際、図2の投影光学系PLに実際に入射する光量は、インテグレートセンサ9で計測される入射エネルギー $E_i$ にレチクルRのパターン透過率（＝照明領域内の透過部の面積／レチクルR上の照明領域の面積）を掛け合わせた光量である。なお、パターン透過率は
- 10      1からパターン存在率を差し引いた値でもあるため、このパターン存在率を使用してもよい。また、照射量モニタ32を介して計測される透過エネルギー $E_o$ は、入射する光量にレチクルRのパターン透過率と、投影光学系PLの透過率（減衰率）とを掛け合わせたものとなる。ここで、パターン透過率はレチクルRの設計
- 15      データよりレチクルRの位置Xの関数として既知であり、求める対象は投影光学系PLの透過率（減衰率）である。そこで、インテグレートセンサ9を介して計測される入射エネルギー $E_i$ 、照射量モニタ32を介して計測される透過エネルギー $E_o$ を用いて、レチクルRのパターン透過率（透過率）を位置Xの関数 $T_R$ （X）、投影光学系PLの透過率（減衰率）をTとすれば、以下の式より投影光学
- 20      系PLの透過率（減衰率）Tが求まる。より正確には、そのパターン透過率の関数 $T_R$ （X）には、固定ブラインド15A及び可動ブラインド15Bの総合的な開口率が乗じられている。

$$T = (1/T_R(X)) \times (E_o/E_i) \quad (4)$$

- そこで、先ず図4のステップ121において、投影光学系PLの露光領域に照射量モニタ32の受光面が設定され（図2参照）、レチクルステージ20A上にレチクルRが載置され、レチクルステージ20Aは走査開始位置に移動する。次の
- 25      ステップ122において、図1の主制御系27によって例えば不図示のホストコンピュータよりレチクルRの設計データ（レチクルデータ）が呼び出され、レチクルRの走査方向の位置Xに対応するパターン透過率 $T_R$ （X）が算出される。

その後、ステップ123において、主制御系27の指令によって実際の露光時と同様にレチクルステージ20A（レチクルR）の走査が開始され、ArFエキシマレーザ光源1の発光も開始される。レチクルRは+方向、又は-X方向に走査終了位置まで走査される。

- 5     そして、ステップ124で、駆動制御ユニット22を介して計測されたレチクルステージ20Aの位置Xが主制御系27に供給され、パルス発光毎にインテグレートセンサ9を介して計測される入射エネルギー $E_i$ が直接透過率（減衰率）計算部63、及び入射光量積分部64に供給され、照射量モニタ32を介して計測される透過エネルギー $E_o$ が直接透過率（減衰率）計算部63に供給される。
- 10    次のステップ125において、主制御系27は、レチクルステージ20Aの位置Xよりパルス発光の周期より短い周期で現在のパターン透過率 $T_R(X)$ を算出し、算出結果を直接透過率（減衰率）計算部63、及び入射光量積分部64に供給する。入射光量積分部64では、パルス発光毎に入射エネルギー $E_i$ にそのパターン透過率 $T_R(X)$ を乗じた値を積分（積算）して入射総エネルギー $e$ を算
- 15    出して透過率（減衰率）演算部67に供給し、直接透過率（減衰率）計算部63では、入射エネルギー $E_i$ 、及び透過エネルギー $E_o$ を（4）式に代入して投影光学系PLの透過率（減衰率） $T$ を計算し、計算結果を透過率（減衰率）演算部67に供給する。次のステップ126で計測終了となるまで、即ちレチクルRが走査終了位置まで移動するまで、所定の時間間隔でステップ125の動作が繰り返され、計測が終了したときにステップ127に移行して、透過率（減衰率）演算部67では、投影光学系PLの透過率（減衰率） $T$ を入射総エネルギー $e$ の関数 $T(e)$ として求め、この関数 $T(e)$ をメモリ68に格納する。
- 20    その後、実際に走査露光を行う場合には、ステップ128において、図3のステップ106と同様に、図1に示すようにレチクルR及びウエハWの走査が開始

- 25    されて、ArFエキシマレーザ光源1の発光が開始される。そして、ステップ129において、所定周期で駆動制御ユニット22によりレチクルRの位置Xの計測が行われ、パルス発光毎にインテグレートセンサ9による入射エネルギー $E_i$ の計測が行われる。そして、レチクルRの位置Xより算出されるパターン透過率 $T_R(X)$ が図2の入射光量積分部64に供給され、入射光量積分部64は入射

エネルギー  $E_i$  にそのパターン透過率  $T_R(X)$  を乗じた値を積分して入射総エネルギー  $e$  を計算し、計算結果を透過率（減衰率）演算部 67 に供給する。ステップ 130 において、透過率（減衰率）演算部 67 では、ステップ 127 でメモリ 68 に記憶された関数  $T(e)$  にその入射総エネルギー  $e$  を代入して現在の投影光学系 PL の透過率（減衰率） $T(now)$  を算出し、算出結果を制御部 69 に供給する。そして、制御部 69 では、ステップ 131 において、ステップ 110 と同様に投影光学系 PL の透過率（減衰率）の変動を相殺してウエハ W 上での紫外パルス光 IL の照度が一定となるように、ArF エキシマレーザ光源 1 の出力、又は可変減光器 6 の減光率を制御する。その後のステップ 132 ~ 135 は  
5  
10  
ステップ 111 ~ 114 と同様であり、当該ショット領域への走査露光、及び次のショット領域への露光準備が行われる。

この例によれば、レチクルのパターン透過率も考慮しているため、実際の走査露光時の投影光学系 PL の透過率（減衰率）の変動をより高精度に検出できる。従って、露光量の制御精度も向上している。

15  
20  
なお、上記の例では透過率（減衰率）計測時にはレチクル R は任意の方向に走査されるものとしているが、走査方向によって投影光学系 PL の透過率（減衰率）を表す関数  $T(e)$  の形が微妙に変化する恐れもある。そこで、走査方向毎にその関数  $T_1(e)$ 、 $T_2(e)$  を求めておき、走査露光時には走査方向に応じてその関数  $T_1(e)$ 、 $T_2(e)$  を使い分けるようにしてもよい。これによって、レチクルのパターン透過率が対称でない場合や、レチクルの基板自体の透過率が対称でない場合等にも、高精度に露光量制御が行われる。

次に、本発明の第 3 の実施の形態につき説明する。本例でも図 1 の投影露光装置を使用するが、本例では紫外パルス光 IL の照射停止後の投影光学系 PL の透過率（減衰率）の変動をも計測する。即ち、上記の第 1 及び第 2 の実施の形態において、投影光学系 PL の透過率（減衰率）が紫外パルス光 IL の照射停止後  
25  
に直ちに初期の状態に戻るという前提で、単純に 1 回の走査露光毎の照射のみ考慮して投影光学系 PL の透過率（減衰率）の変化を求めていた。しかし、紫外パルス光 IL の照射停止後の回復速度によっては或るショットの露光終了後、次のショットの露光開始までに透過率が初期状態まで十分回復しないことがあり得る。

特に、低感度レジストが使用されている場合には、大きな露光量を必要とするために透過率の変化が大きくなって、ショット間で透過率が初期状態まで回復しにくくなり、投影露光装置のスループットの向上を図るためにショット間のステッピング時間等を短縮する場合にも、ショット間での透過率の回復が不十分となる恐れがあるため、紫外パルス光 I L の照射停止後の透過率（減衰率）変動を考慮する必要がある。

そこで、本例における投影光学系 P L の透過率（減衰率）の変化の計測動作、及び走査露光動作につき、図 5 のフローチャートを参照して説明する。本例では、先ず図 5 のステップ 1 4 1 ～ 1 4 5 において、第 1 の実施の形態のステップ 1 0 1 ～ 1 0 5 と同様に（第 2 の実施の形態のステップ 1 2 1 ～ 1 2 7 と同様でもよい）、紫外パルス光 I L の照射中の投影光学系 P L の透過率（減衰率）の変化を計測し、入射総エネルギー  $e$  の関数としてその透過率（減衰率） $T(e)$  を求めてメモリ 6 8 に記憶する。次に、ステップ 1 4 7 ～ 1 5 0 において、照射をしない場合の投影光学系 P L の透過率（減衰率）の変化を計測して経過時間の関数で表す。

具体的に、ステップ 1 4 6 で投影光学系 P L に例えば想定される最大の露光量に所定のマージンを加えた露光量が照射された状態で、A r F エキシマレーザ光源 1 の発光を停止する。その後、ステップ 1 4 7 で発光停止からの経過時間  $t$  を計測し、所定の時間間隔でステップ 1 4 8 において、図 2 の A r F エキシマレーザ光源 1 に瞬間的に最小パルス数の発光を行わせて、直接透過率（減衰率）計算部 6 3 において、透過エネルギー  $E_o$  及び入射エネルギー  $E_i$  より投影光学系 P L の透過率（減衰率） $T(=E_o/E_i)$  を算出し、この透過率（減衰率） $T$  を透過率（減衰率）演算部 6 7 に供給する。この減衰率の計測を所定回数繰返し、計測が終了したときに動作はステップ 1 4 9 からステップ 1 5 0 に移行して、透過率（減衰率）演算部 6 7 では、投影光学系 P L の透過率（減衰率） $T$  を紫外パルス光 I L の発光停止からの経過時間  $t$  の関数  $T(t)$  として近似し、この関数  $T(t)$  をメモリ 6 8 に記憶する。その関数  $T(t)$  としては、予め係数を未定とした経過時間  $t$  の 2 次以上の関数、又は指数関数等を使用できる。

図 6 の曲線 7 0 C は、紫外パルス光 I L の照射停止後の投影光学系 P L の透過



率（減衰率） $T (=E_o / E_i)$  の変化の一例を示し、この図 6 の横軸は照射停止からの経過時間  $t$  (hour) で、縦軸は透過率（減衰率） $T$ （相対値）である。また、曲線 70 A は、減衰率計測用に瞬間的に供給される入射エネルギー  $E_i$ （相対値）を示し、曲線 70 B は、その入射エネルギー  $E_i$  に対応して計測される透過エネルギー  $E_o$ （相対値）を示している。その曲線 70 C より分かるように、紫外パルス光  $I_L$  の照射停止後には、投影光学系  $P_L$  の透過率（減衰率） $T$  は一度大きく回復した後、次第に低下している。メモリ 68 には、その曲線 70 C を近似した経過時間  $t$  の関数  $T(t)$  が記憶される。

その後の走査露光時には、図 1 の主制御系 27 から図 2 の透過率（減衰率）演算部 67 に対して紫外パルス光  $I_L$  の照射中か、又は例えばショット間のステッピング中で紫外パルス光  $I_L$  の照射が中断されているかを示す情報が供給される。又は、透過率（減衰率）演算部 67 では、ADC 62 からの入射エネルギー  $E_i$  の有無によって照射中かどうかを判定してもよい。このようにして、図 5 のステップ 151 において、透過率（減衰率）演算部 67 では、紫外パルス光  $I_L$  が照射中かどうかを判定し、照射中であるときには、ステップ 152 において、所定の時間間隔で入射光量積分部 64 からの入射総エネルギー  $e$  を取り込み、ステップ 153 において、この入射総エネルギー  $e$ 、及びステップ 144 でメモリ 68 に記憶された関数  $T(e)$  より投影光学系  $P_L$  の現在の透過率（減衰率） $T(now)$  を求める。そして、以下のステップ 154 で図 3 のステップ 110 と同様にその透過率（減衰率） $T(now)$  の変化を相殺するように紫外パルス光  $I_L$  の出力を制御し、以下ステップ 155 で走査露光が終了するまで、ステップ 152 ~ 154 の動作が繰り返される。

その後、ステップ 155 で走査露光が終了し、ステップ 159 で 1 つのショット領域への露光が終了すると、ステップ 160 で全部のショット領域への露光が終了したかどうか判定され、露光が終了していないときには、ステップ 151 に戻る。この場合には、ウエハステージ 24 が次のショット領域を走査開始位置に移動するためにステッピング中であり、紫外パルス光  $I_L$  の照射は中断しているため、動作はステップ 151 からステップ 156 に移行して、透過率（減衰率）演算部 67 は先ずその時点で入射光量積分部 64 から供給されている入射総エネ

ルギー $e$ 、及びステップ145で記憶された関数 $T(e)$ より、現在の投影光学系 $PL$ の透過率（減衰率） $TA$ を計算する。そして、次のショット領域への走査露光が始まる直前にステップ157において、透過率（減衰率）演算部67は、紫外パルス光 $IL$ の照射中断からこれまでの経過時間 $t$ 、及びステップ150で記憶された関数 $T(t)$ より現在の投影光学系 $PL$ の透過率（減衰率） $TB$ を算出する。この場合、経過時間 $t$ が0での透過率（減衰率） $T(0)$ の値を $TC$ とすると、ステップ158において、透過率（減衰率）演算部67では、一例として次式より現在の投影光学系 $PL$ の実際の透過率（減衰率） $T(now)$ を算出する。

10 
$$T(now) = TA \cdot TB / TC \quad (5)$$

そして、次のショット領域への走査露光が開始されて動作がステップ151からステップ152に移行したときには、投影光学系 $PL$ の透過率（減衰率）の初期値を（5）式で定まる値として、露光量制御を行う。このようにして各ショット領域への走査露光が行われ、ステップ160で全部のショット領域への露光が終了したときにステップ161で露光動作が終了する。

このように本例によれば、ショット間で紫外パルス光 $IL$ の照射が中断されている際の投影光学系 $PL$ の透過率（減衰率）の変動も考慮されるため、より高精度にウエハ $W$ 上の各ショット領域への露光量が制御される。

次に、図5の走査露光を実際にウエハ $W$ 上に回路パターンを形成する工程で用いる場合の動作の一例につき、図7のフローチャートを参照して説明する。まず、図7のステップ171において、図1のレチクルステージ20A上にレチクル $R$ がロードされる。次のステップ172において、露光対象のウエハ（ウエハ $W$ とする）上に金属膜を蒸着し、ステップ173において、そのウエハ $W$ 上の金属膜上にレジストを塗布した後、ウエハ $W$ を図1の投影露光装置のウエハステージ24上にロードする。次に、ステップ174において、図5のステップ151～161までの動作と同様に、投影光学系 $PL$ の透過率（減衰率）の変化を相殺するように、即ちウエハ $W$ 上での紫外パルス光 $IL$ の照度が一定となるように紫外パルス光 $IL$ の光量を制御しながら、レチクル $R$ のパターン像を走査露光方式でウエハ $W$ 上の各ショット領域に露光する。

その後、ステップ175において、ウエハW上のレジストの現像を行い、ステップ176でそのレジストパターンをマスクとしてウエハW上の金属膜のエッチングを行った後、レジストパターンを除去することによって、所望の回路パターンがウエハW上の各ショット領域に形成される。その後、ウエハWは次のレイヤ5の回路パターンの形成工程に移行する。この際に本例では、ウエハW上の各ショット領域で最適な露光量が得られているため、ウエハW上の各ショット領域に所望の回路パターンが高い転写忠実度で形成される。

なお、上記の実施の形態は、本発明をステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に適用したものであるが、本発明はステップ・アンド・リピート方式の10 投影露光装置（ステッパー）で露光する場合にも適用することができる。ステッパーの場合には、例えば図3のステップ110及び111に対応する工程で、ウエハ上の当該ショット領域への積算露光量が所定の値になるように露光時間が制御される。

なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。15

本発明の投影露光装置によれば、露光エネルギービームの照射開始からの投影光学系の減衰率変化が照射量に応じてほぼ一定の変化量を示すことを利用して、予めこの減衰率変化を計測して記憶している。そして、実際の露光時には投影光学系に入射する露光エネルギービーム量から投影光学系の減衰率の変化を推定し、20 この減衰率の変化に応じて露光量を制御しているため、投影光学系の減衰率変動によって発生する基板上での照度変動（又はパルスエネルギー変動）に起因した露光量の制御精度の劣化を防止できる利点がある。

また、露光中の基板面上での露光量を計測するような新規のセンサーを追加する必要がなく、基板側のステージ付近のスペースの制約を受けない。

25 この場合、減衰率特性記憶系は、投影光学系の減衰率の総入射エネルギー量に対する変化率の他に、露光エネルギービームの照射を中断した後の経過時間に対する投影光学系の減衰率の変化率を記憶し、演算系は、減衰率特性記憶系に記憶されている減衰率の2種類の変化率、入射エネルギー量積算系の出力、及び露光エネルギービームの照射を中断した後の経過時間に基づいて逐次投影光学系の減

衰率を算出するときには、露光エネルギービームの照射の中断後に投影光学系の減衰率が十分に回復しない場合でも、その投影光学系の減衰率の変化を正確に推定できる。

5 また、本発明をステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光方式の投影露光装置に適用した場合、走査露光方式では、投影光学系の減衰率変動に応じて例えば基板面で一定の照度が得られるように露光量を制御することで、良好な露光量制御精度が得られる。

10 さらに、本発明の露光方法によれば、走査露光方式の投影露光装置を用いて、投影光学系の減衰率の変化の計測時に実際にマスクを使用した状態での減衰率を計測することによって、マスクのパターン密度の違いによる入射エネルギー量の変動によって投影光学系の減衰率変化を誤計測することが防止され、露光量制御精度を向上させることができる。

また、本発明の回路デバイスの製造方法によれば、本発明の投影露光装置を用いて高い転写忠実度で回路パターンを基板上に形成できる。

## 請 求 の 範 囲

1. マスクに形成されたパターンを所定の露光エネルギービームで照射し、該マスクのパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影する投影露光装置において、

5 て、

前記投影光学系に入射する入射総エネルギーに応じた前記投影光学系の減衰率変動を記憶する減衰率特性記憶系と、

前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを算出し、該入射総エネルギー値と減衰率特性記憶系に記憶された前記減衰率変動とに基づいて、露光時における前記投影光学系の減衰率を求める系とを具備してなることを特徴とする投影露光装置。

10

2. 請求項1に記載の投影露光装置にして、

前記減衰率変動は、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギー値の関数であることを特徴とする投影露光装置。

15

3. 請求項1に記載の投影露光装置にして、

前記マスクの透過率に基づいて、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを算出することを特徴とする投影露光装置。

4. 請求項1に記載の投影露光装置にして、

前記投影露光装置は、前記露光エネルギービームと前記マスクとを相対走査して、前記マスクのパターンの像を前記基板上に投影することを特徴とする投影露光装置。

20

5. 請求項4に記載の投影露光装置にして、

前記露光エネルギービームと前記マスクとの相対位置情報を利用して、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを算出することを特徴とする投影露光装置。

25

6. 請求項4に記載の投影露光装置にして、

前記相対位置情報は、前記露光エネルギービームと前記マスクとの相対位置に応じた前記マスクの光学特性であることを特徴とする投影露光装置。

7. 請求項6に記載の投影露光装置にして、

前記マスクの光学特性は、前記マスクの透過率特性を含むことを特徴とする投影露光装置。

8. 請求項1に記載の投影露光装置にして、

5 前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを計測する入射エネルギー計測系を更に有することを特徴とする投影露光装置。

9. 請求項8に記載の投影露光装置にして、

前記投影光学系からの射出エネルギーを計測する射出エネルギー計測系を更に有することを特徴とする投影露光装置。

10. 請求項9に記載の投影露光装置にして、

10 前記入射エネルギー計測系と前記射出エネルギー計測系との計測結果に基づいて、前記減衰率変動を求めることを特徴とする投影露光装置。

11. 請求項8に記載の投影露光装置にして、

15 前記入射エネルギー計測系は、前記露光エネルギービームと前記マスクとを相対移動させた状態で、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを計測することを特徴とする投影露光装置。

12. 請求項8に記載の投影露光装置にして、

20 前記投影露光装置は、前記露光エネルギービームと前記マスクとを相対走査して、前記マスクのパターンの像を前記基板上に投影するものであり、露光時と同様に前記露光エネルギービームと前記マスクとを相対走査させながら前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを計測することを特徴とする投影露光装置。

13. 請求項1に記載の投影露光装置にして、

前記減衰率変動に基づいて、前記基板上に与えられる露光量を制御する露光制御系を更に有することを特徴とする投影露光装置。

25 14. 請求項13に記載の投影露光装置にして、

前記減衰率特性記憶系は、前記入射総エネルギーに対する前記投影光学系の減衰率の他に、前記露光エネルギービームの前記投影光学系への照射を停止した後の経過時間に対する前記投影光学系の減衰率変動を記憶することを特徴とする投影露光装置。

15. 請求項14に記載の投影露光装置にして、

前記減衰率特性記憶系に記憶されている2種類の減衰率変動と、前記投影光学系に入射する入射総エネルギーと、前記経過時間とを使って前記投影光学系の減衰率を求めることを特徴とする投影露光装置。

5 16. 請求項15に記載の投影露光装置にして、

前記求めた減衰率に基づいて、前記基板上に与えられる露光量を制御することを特徴とする投影露光装置。

17. 請求項4に記載の投影露光装置にして、

10 前記マスク及び前記基板をそれぞれ移動するステージ系を備え、露光時に前記ステージ系を介して前記マスク及び前記基板を前記投影光学系に対して同期走査することを特徴とする投影露光装置。

18. 請求項1に記載の投影露光装置にして、

前記露光エネルギービームは、紫外域の波長を有するエネルギービームであることを特徴とする投影露光装置。

15 19. マスクに形成されたパターンを所定の露光エネルギービームで照射し、該マスクのパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影する投影露光装置において、

前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーに応じた前記投影光学系の減衰率変動を記憶する減衰率特性記憶系を備えてなることを特徴とする投影露光装置。

20 20. 請求項19に記載の投影露光装置にして、

前記減衰率変動は、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギー値の関数であることを特徴とする投影露光装置。

21. 請求項19に記載の投影露光装置にして、

25 前記マスクの透過率に基づいて、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを算出することを特徴とする投影露光装置。

22. 請求項19に記載の投影露光装置にして、

前記投影露光装置は、前記露光エネルギービームと前記マスクとを相対走査して、前記マスクのパターンの像を前記基板上に投影することを特徴とする投影露

光装置。

23. 請求項22に記載の投影露光装置にして、

前記露光エネルギービームと前記マスクとの相対位置情報を利用して、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを算出することを特徴とする投影露光装置。

24. 請求項22に記載の投影露光装置にして、

前記相対位置情報は、前記露光エネルギービームと前記マスクとの相対位置に応じた前記マスクの光学特性であることを特徴とする投影露光装置。

25. 請求項24に記載の投影露光装置にして、

10 前記マスクの光学特性は、前記マスクの透過率特性を含むことを特徴とする投影露光装置。

26. 請求項19に記載の投影露光装置にして、

前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを計測する入射エネルギー計測系を更に有することを特徴とする投影露光装置。

15 27. 請求項26に記載の投影露光装置にして、

前記入射エネルギー計測系は、前記露光エネルギービームと前記マスクとを相対移動させた状態で、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを計測することを特徴とする投影露光装置。

28. 請求項27に記載の投影露光装置にして、

20 前記投影露光装置は、前記露光エネルギービームと前記マスクとを相対走査して、前記マスクのパターンの像を前記基板上に投影するものであり、露光時と同様に前記露光エネルギービームと前記マスクとを相対走査させながら前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを計測することを特徴とする投影露光装置。

25 29. 請求項19に記載の投影露光装置にして、

前記露光エネルギービームは、紫外域の波長を有するエネルギービームであることを特徴とする投影露光装置。

30. マスクに形成されたパターンを所定の露光エネルギービームで照射し、該マスクのパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影する投影露光装置の製



造方法において、

前記投影光学系に入射する入射総エネルギーに応じた前記投影光学系の減衰率変動を記憶する減衰率特性記憶系を装備するステップと、

- 5 前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを算出し、該入射総エネルギー値と減衰率特性記憶系に記憶された前記減衰率変動とに基づいて、露光時における前記投影光学系の減衰率を求める系を装備するステップとを具備してなることを特徴とする投影露光装置の製造方法。

3 1. 請求項 3 0 に記載の投影露光装置の製造方法にして、

前記製造方法によって製造された投影露光装置を使用して作られた基板。

- 10 3 2. 請求項 3 0 に記載の投影露光装置の製造方法にして、

前記減衰率変動は、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギー値の関数であることを特徴とする投影露光装置の製造方法。

3 3. 請求項 3 0 に記載の投影露光装置の製造方法にして、

- 15 前記マスクの透過率に基づいて、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを算出することを特徴とする投影露光装置の製造方法。

3 4. 請求項 3 0 に記載の投影露光装置の製造方法にして、

前記露光エネルギービームと前記マスクとの相対位置情報を利用して、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを算出することを特徴とする投影露光装置の製造方法。

- 20 3 5. 請求項 3 4 に記載の投影露光装置の製造方法にして、

前記相対位置情報は、前記露光エネルギービームと前記マスクとの相対位置に応じた前記マスクの光学特性であることを特徴とする投影露光装置の製造方法。

3 6. 請求項 3 5 に記載の投影露光装置の製造方法にして、

- 25 前記マスクの光学特性は、前記マスクの透過率特性を含むことを特徴とする投影露光装置の製造方法。

3 7. 請求項 3 0 に記載の投影露光装置の製造方法にして、

前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを計測する入射エネルギー計測系を装備するステップを更に有することを特徴とする投影露光装置の製造方法。

38. 請求項30に記載の投影露光装置の製造方法にして、

前記投影光学系からの射出エネルギーを計測する射出エネルギー計測系を装備するステップを更に有することを特徴とする投影露光装置の製造方法。

39. 請求項30に記載の投影露光装置の製造方法にして、

5 前記減衰率変動に基づいて、前記基板上に与えられる露光量を制御する露光制御系を装備するステップを更に有することを特徴とする投影露光装置の製造方法。

40. 請求項30に記載の投影露光装置の製造方法にして、

前記露光エネルギービームは、紫外域の波長を有するエネルギービームであることを特徴とする投影露光装置の製造方法。

10 41. マスクに形成されたパターンを所定の露光エネルギービームで照射し、該マスクのパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影する露光方法において、

前記投影光学系に入射する入射総エネルギーに応じた前記投影光学系の減衰率変動を求めることと、

15 前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギー値と前記減衰率変動とに基づいて、前記投影光学系の減衰率を求めることとを具備してなることを特徴とする露光方法。

42. 請求項41に記載の露光方法にして、

前記マスクの透過率に基づいて、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを求めることを特徴とする露光方法。

20 43. 請求項41に記載の露光方法にして、

前記露光エネルギービームと前記マスクとの相対位置情報を利用して、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを求めることを特徴とする露光方法。

44. 請求項43に記載の露光方法にして、

25 前記相対位置情報は、前記露光エネルギービームと前記マスクとの相対位置に応じた前記マスクの光学特性であることを特徴とする露光方法。

45. 請求項44に記載の露光方法にして、

前記マスクの光学特性は、前記マスクの透過率特性を含むことを特徴とする露光方法。

46. 請求項41に記載の露光方法にして、

前記露光エネルギービームと前記マスクとを相対移動させた状態で、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを計測することを特徴とする露光方法。

5 47. 請求項41に記載の露光方法にして、

前記減衰率変動に基づいて、前記基板上に与えられる露光量を制御することを更に有することを特徴とする露光方法。

48. 請求項41に記載の露光方法にして、

10 前記入射総エネルギーに対する前記投影光学系の減衰率変動と前記露光エネルギービームの前記投影光学系への照射を停止した後の経過時間に対する前記投影光学系の減衰率変動との2種類の減衰率変動を使って前記投影光学系の減衰率変動を求めることを特徴とする露光方法。

49. 請求項41に記載の露光方法にして、

15 前記露光エネルギービームは、紫外域の波長を有するエネルギービームであることを特徴とする露光方法。

50. マスクのパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影して所定の回路デバイスを製造するための回路デバイスの製造方法であって、

前記基板上に感光材料を塗布する第1工程と、

20 前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーに対する前記投影光学系の減衰率変動と、該入射総エネルギーとに基づいて、露光時における前記投影光学系の減衰率を求め、該減衰率を使って前記基板上への露光量を制御して前記マスクのパターンの像を前記基板に露光する第2行程と、

前記基板の現像を行う第3行程とを具備することを特徴とする回路デバイスの製造方法。

25 51. 請求項50に記載の回路デバイスの製造方法にして、

前記マスクと露光エネルギービームとの相対位置に応じた前記マスクの光学特性に基づいて、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを求めることを特徴とする回路デバイスの製造方法。

52. マスクに形成されたパターンを所定の露光エネルギービームで照射し、該

マスクのパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影する露光方法において、  
前記投影光学系に入射する入射総エネルギーに応じた前記投影光学系の減衰率  
変動を求めることと、

前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを前記マスクのパターン情報に基  
5 づいて補正することと、

前記補正された入射総エネルギー値と前記減衰率変動とに基づいて、前記投影  
光学系の減衰率を求めることとを具備してなることを特徴とする露光方法。

5 3. 請求項 5 2 に記載の露光方法にして、

前記パターン情報は、前記マスクの透過率を含むことを特徴とする露光方法。

10 5 4. 請求項 5 2 に記載の露光方法にして、

前記パターン情報は、前記マスクのパターンの存在率を含むことを特徴とする  
露光方法。

5 5. 請求項 5 2 に記載の露光方法にして、

前記パターン情報は、前記露光エネルギービームと前記マスクとの相対位置に  
15 応じた前記マスクの光学特性であることを特徴とする露光方法。

5 6. 請求項 5 5 に記載の露光方法にして、

前記マスクの光学特性は、前記マスクの透過率特性を含むことを特徴とする露  
光方法。

5 7. 請求項 5 5 に記載の露光方法にして、

20 前記マスクの光学特性は、前記マスクのパターンの存在率を含むことを特徴と  
する露光方法。

5 8. 請求項 5 2 に記載の露光方法にして、

前記減衰率変動に基づいて、前記基板上に与えられる露光量を制御することを  
更に有することを特徴とする露光方法。

25 5 9. 請求項 5 2 に記載の露光方法にして、

前記露光エネルギービームは、紫外域の波長を有するエネルギービームである  
ことを特徴とする露光方法。

6 0. マスクに形成されたパターンを所定の露光エネルギービームで照射し、該  
マスクのパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影する投影露光装置にお

いて、

前記投影光学系への露光エネルギービームの照射を停止した後の経過時間に対する前記投影光学系の減衰率変動を記憶する減衰率特性記憶系を備えてなることを特徴とする投影露光装置。

5 6 1. 請求項 6 0 に記載の投影露光装置にして、

前記減衰率変動は、前記マスクへの露光エネルギービームの照射を停止してから経過時間の関数として近似したものであることを特徴とする投影露光装置。

6 2. 請求項 6 0 に記載の投影露光装置にして、

10 前記減衰率特性記憶系は、前記投影光学系に入射する入射総エネルギーに応じた前記投影光学系の減衰率変動も記憶することを特徴とする投影露光装置。

6 3. 請求項 6 0 に記載の投影露光装置にして、

前記露光エネルギービームは、紫外域の波長を有するエネルギービームであることを特徴とする投影露光装置。

15 6 4. マスクに形成されたパターンを所定の露光エネルギービームで照射し、該マスクのパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影する投影露光装置の製造方法において、

前記投影光学系への露光エネルギービームの照射を中断した後にその経過時間に応じた前記投影光学系の減衰率変動を記憶する減衰率特性記憶系を装備するステップと、

20 前記減衰率特性記憶系に記憶された前記減衰率変動と前記経過時間とに基づいて、露光時における前記投影光学系の減衰率を求める系を装備するステップとを具備してなることを特徴とする投影露光装置の製造方法。

6 5. 請求項 6 4 に記載の投影露光装置の製造方法にして、

前記製造方法によって製造された投影露光装置を使用して作られた基板。

25 6 6. 請求項 6 4 に記載の投影露光装置の製造方法にして、

前記減衰率変動に基づいて、前記基板上に与えられる露光量を制御する露光制御系を装備するステップを更に有することを特徴とする投影露光装置の製造方法。

6 7. 請求項 6 4 に記載の投影露光装置の製造方法にして、

前記露光エネルギービームは、紫外域の波長を有するエネルギービームである

ことを特徴とする投影露光装置の製造方法。

68. マスクに形成されたパターンを所定の露光エネルギービームで照射し、該マスクのパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影する露光方法において、

前記投影光学系への露光エネルギービームの入射を中断した後の経過時間に対

5 • する前記投影光学系の減衰率変動を求めることと、

前記減衰率変動に基づいて前記基板への露光量を制御することとを具備してなることを特徴とする露光方法。

69. 請求項68に記載の露光方法にして、

前記投影光学系への露光エネルギービームの入射の再開後に、前記投影光学系

10 への入射総エネルギーに対する前記投影光学系の減衰率変動を求めることと、

前記中断時の減衰率変動と、前記再開後の減衰率変動とに基づいて、前記露光量を制御することとを備えてなることを特徴とする露光方法。

70. 請求項68に記載の露光方法にして、

前記中断後の減衰率変動は、前記マスクへの露光エネルギービームの照射を停  
15 止してからの経過時間の関数として近似したものであることを特徴とする露光方法。

71. 請求項68に記載の露光方法にして、

前記露光エネルギービームは、紫外域の波長を有するエネルギービームであることを特徴とする露光方法。

20 72. マスクのパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影して所定の回路デバイスを製造するための回路デバイスの製造方法であって、

前記基板上に感光材料を塗布する第1工程と、

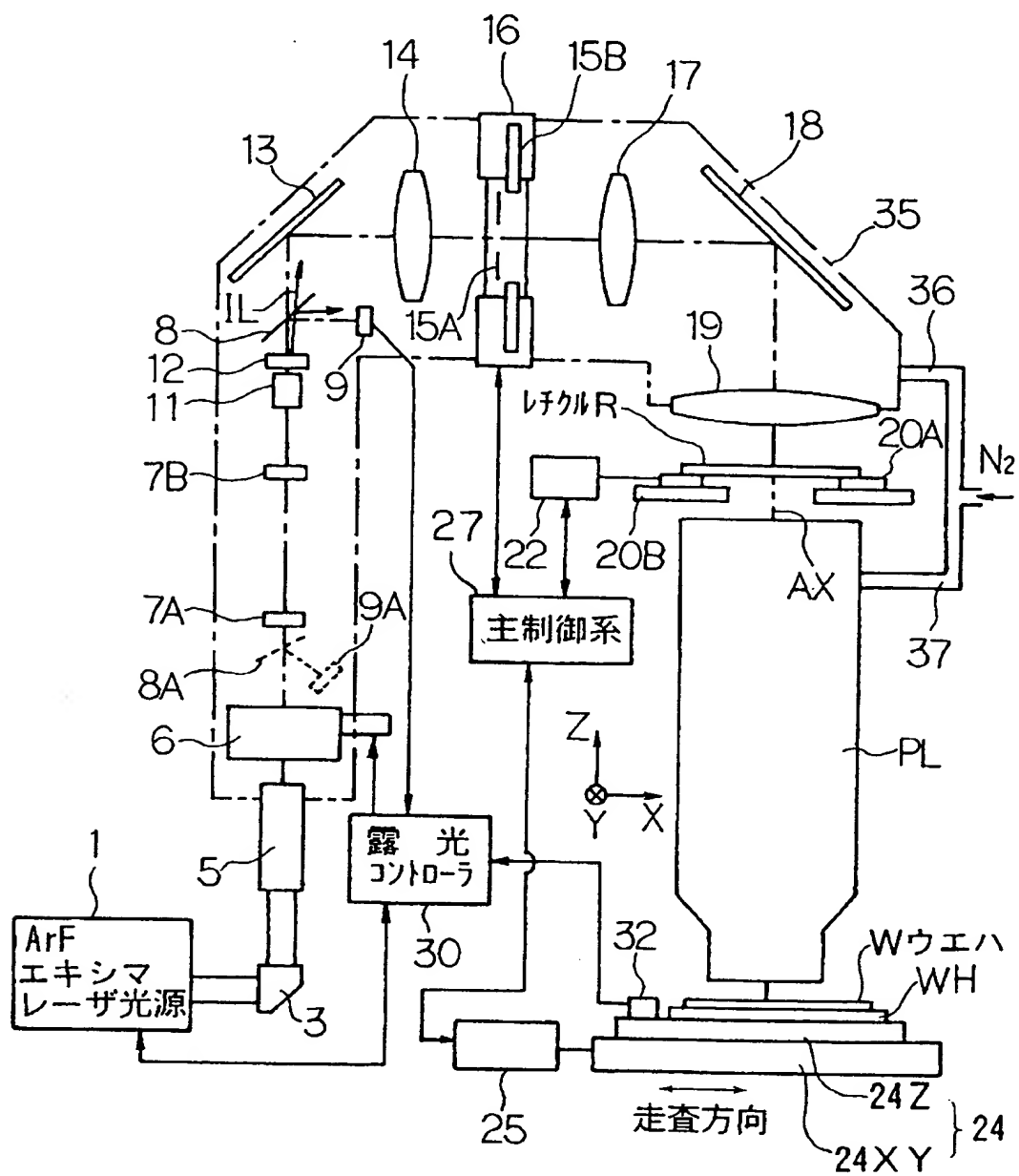
前記マスクへの露光を中断してから所定時間経過後における前記投影光学系の減衰率変動に基づいて露光時における投影光学系の減衰率を求め、該減衰率を使  
25 って前記基板上への露光量を制御して前記マスクのパターン像を前記基板に露光する第2工程と、

前記基板の現像を行う第3工程とを具備してなることを特徴とする回路デバイスの製造方法。

73. 請求項72に記載の回路デバイスの製造方法にして、

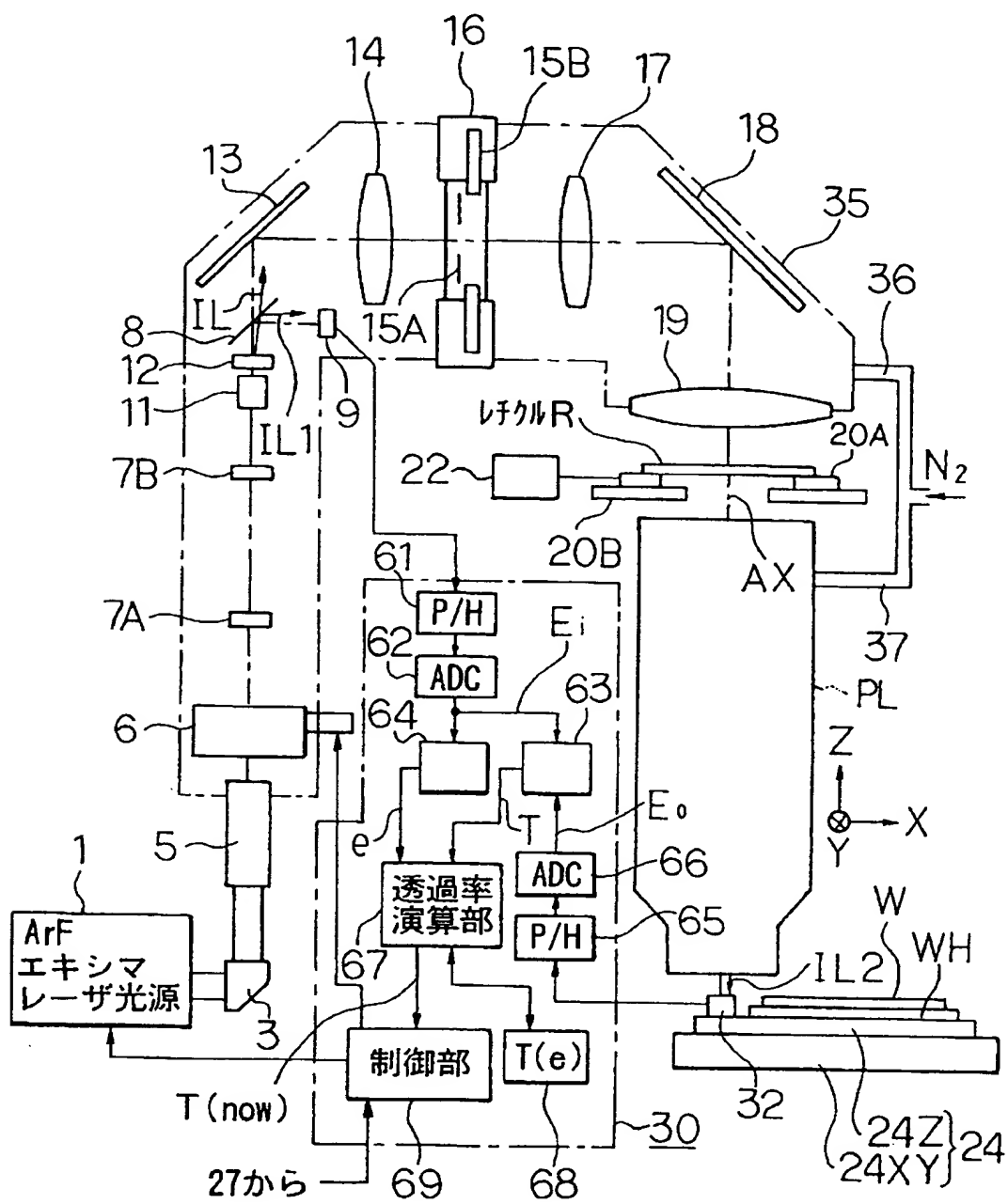
前記マスクと前記露光エネルギービームとの相対位置に応じた前記マスクの光学特性に基づいて、前記マスクを介して前記投影光学系に入射する入射総エネルギーを求めることを特徴とする回路デバイスの製造方法。

【図 1】

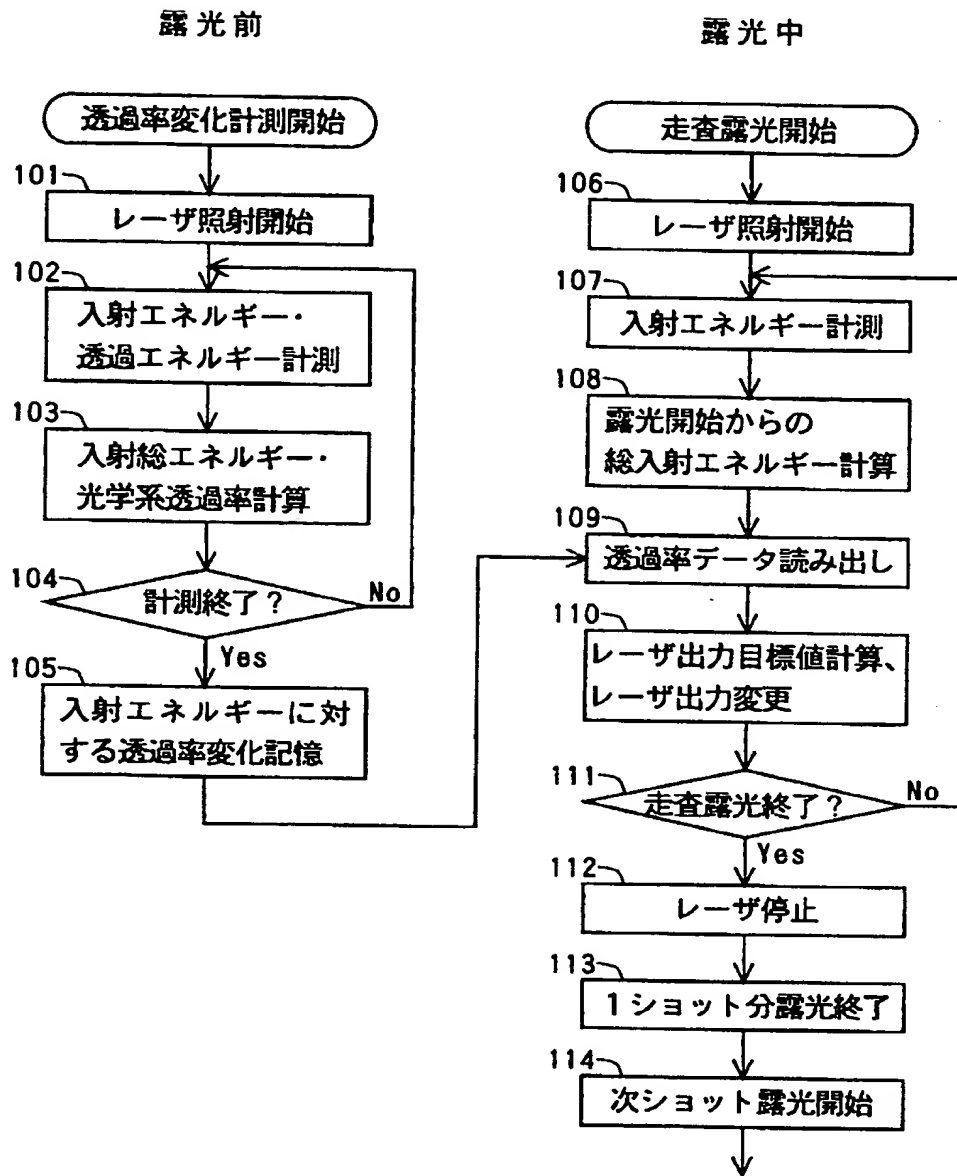




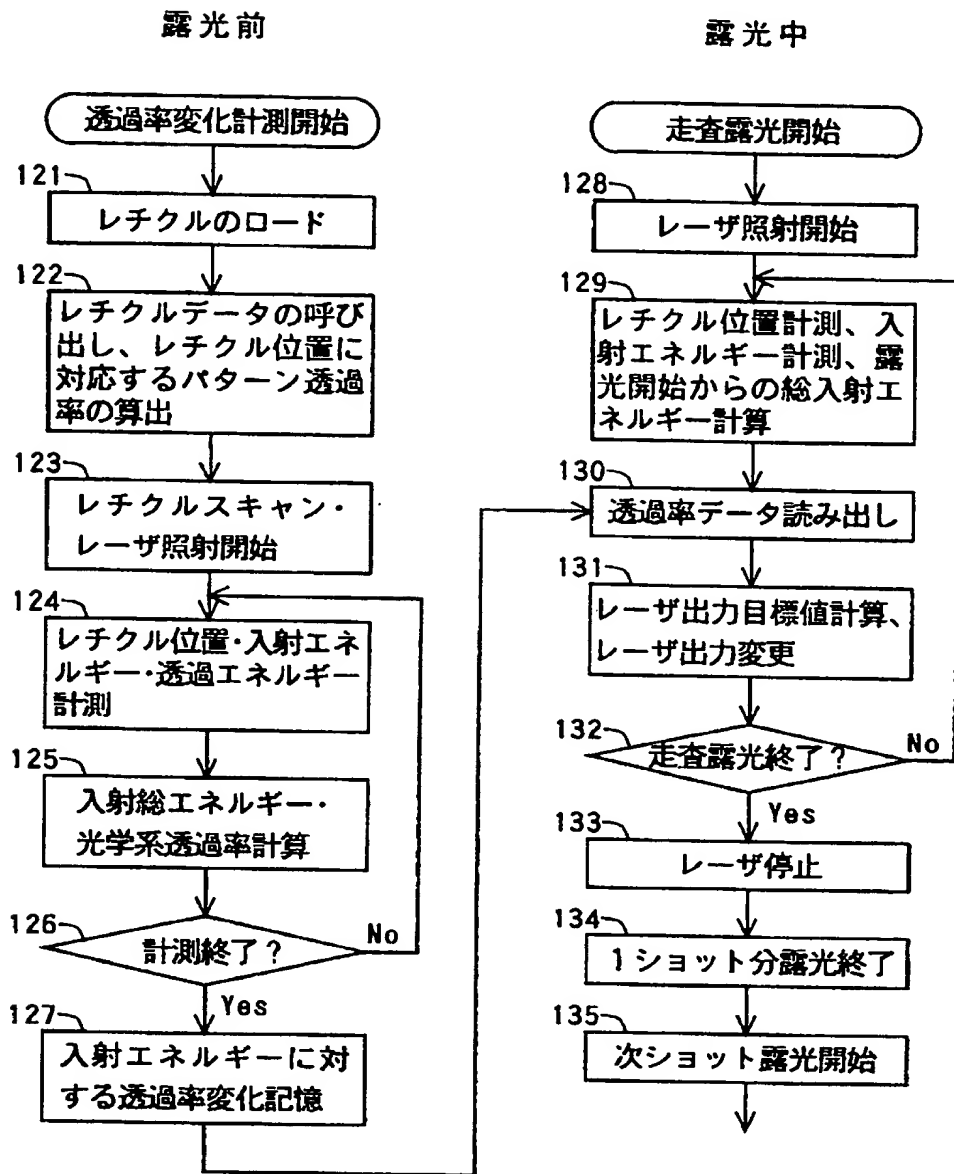
【圖 2】



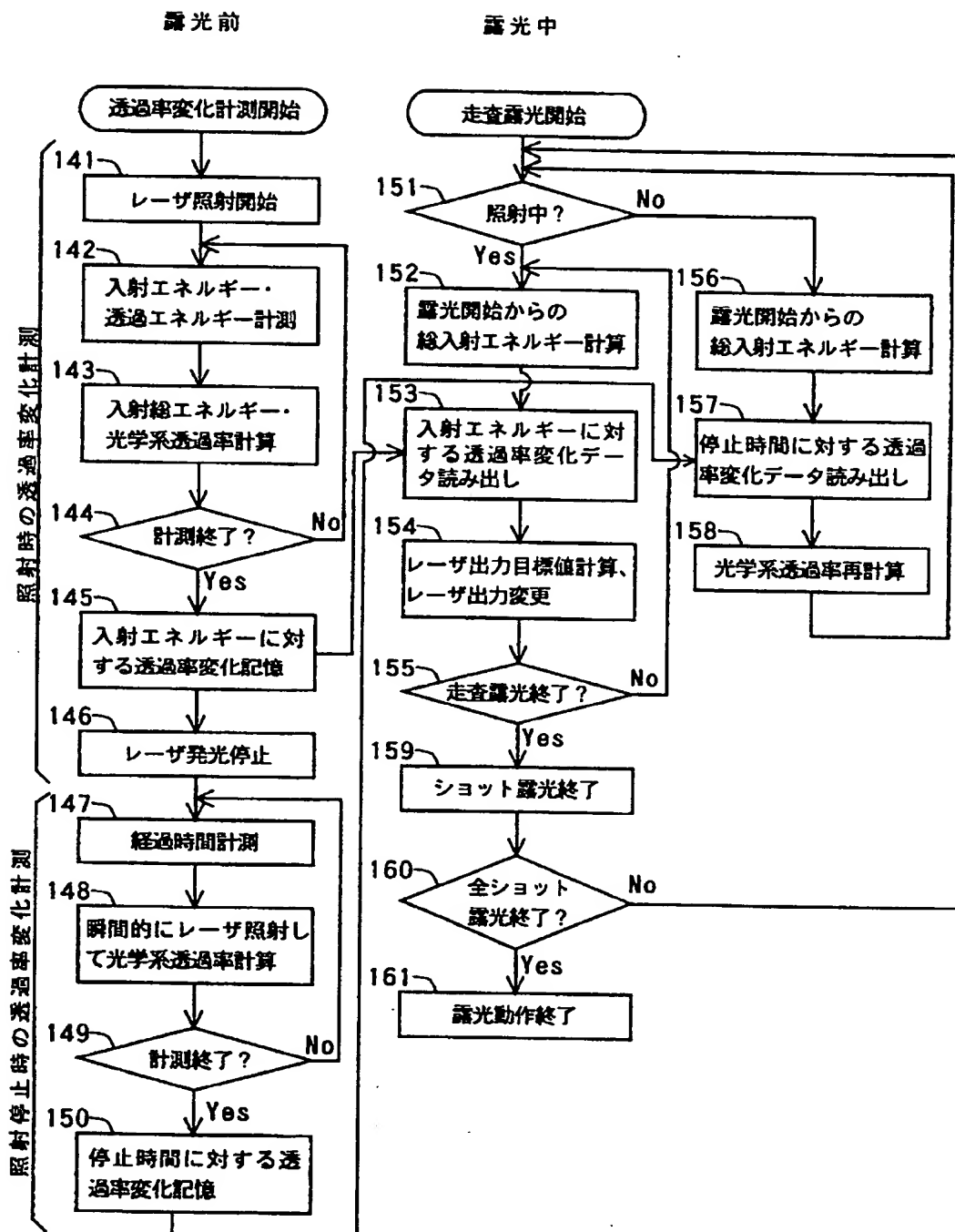
【図3】



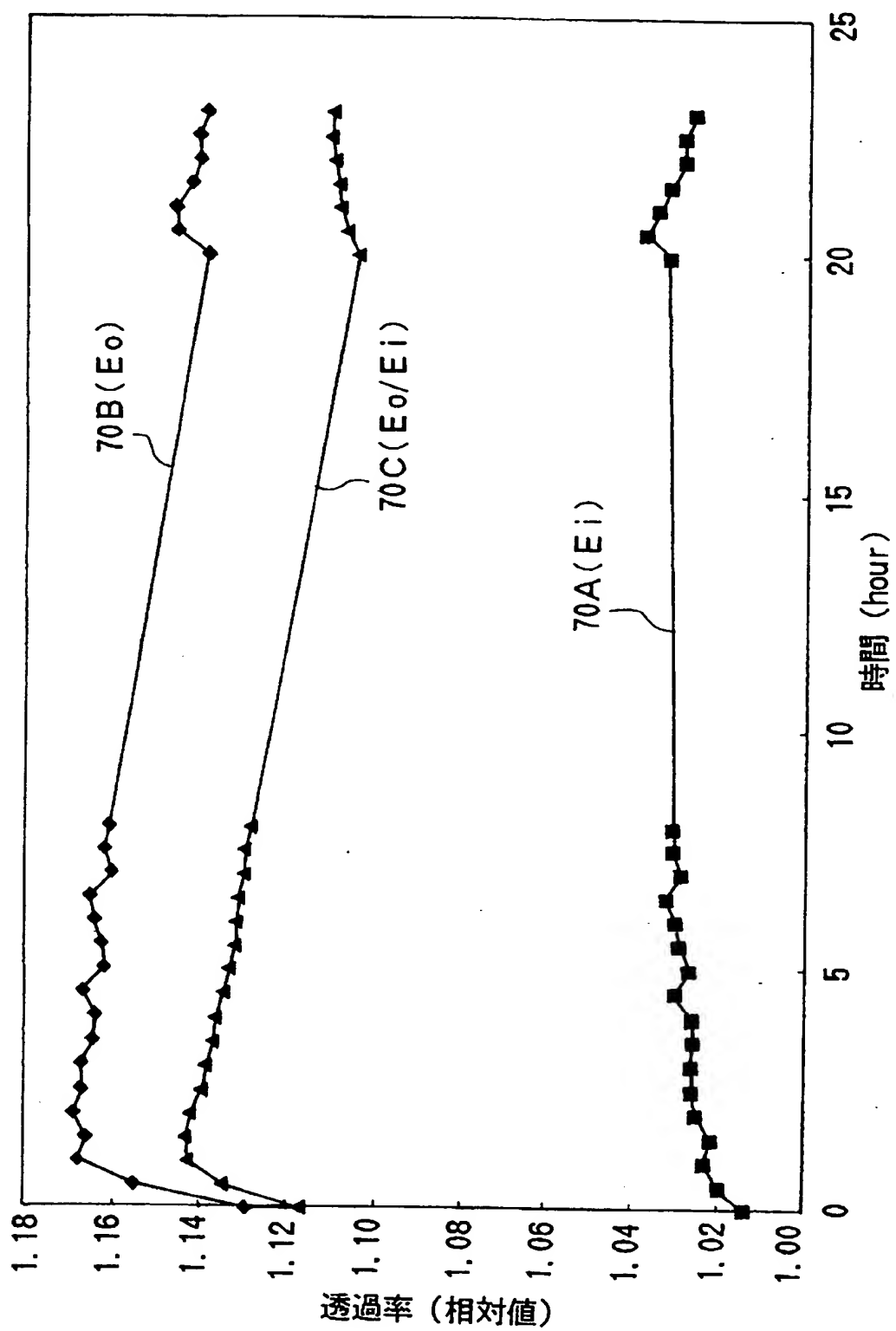
【図 4】



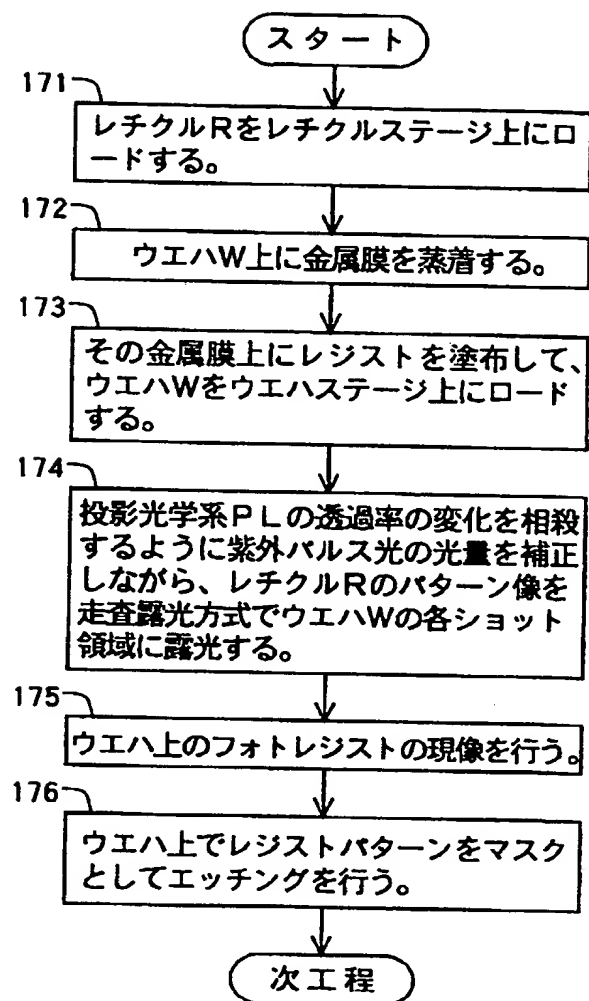
【図 5】



【図 6】



【図 7】



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/02840

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>6</sup> H01L21/027, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>6</sup> H01L21/027, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1998 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1998

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1998 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 1-274022, A (Nikon Corp.), 1 November, 1989 (15. 11. 89), Claim 1 (Family: none)	1-73
A	JP, 5-343286, A (Nikon Corp.), 24 December, 1993 (24. 12. 93), Claim 1 (Family: none)	1-73

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
17 September, 1998 (17. 09. 98)Date of mailing of the international search report  
29 September, 1998 (29. 09. 98)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl <sup>o</sup> H01L21/027 G03F7/20		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl <sup>o</sup> H01L21/027 G03F7/20		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1926-1998年 日本国公開実用新案公報 1971-1998年 日本国登録実用新案公報 1994-1998年 日本国実用新案登録公報 1996-1998年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 1-274022, A (株式会社ニコン) 1. 11月. 1989 (15. 11. 89)、クレーム1 (ファミリーなし)	1-73
A	J P, 5-343286, A (株式会社ニコン) 24. 12月. 1993 (24. 12. 93)、クレーム1 (ファミリーなし)	1-73
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 17. 09. 98	国際調査報告の発送日 29.09.98	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 國島 明弘 印	4M 8932
電話番号 03-3581-1101 内線 3464		